

В.В. Герасимов, В.С. Хандецкий

РАЗВИТИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДУЛЯЦИОННЫХ ИМПУЛЬСОВ В ДЕФЕКТОСКОПИИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Предложена модификация спектрального метода идентификации сигналов дефектов в слабопроводящих композитах со значительной шероховатостью поверхности. Построены карты вероятности выявления и идентификации поверхностных трещин различной глубины на фоне действия высокоинтенсивного шума.

Ключевые слова: вихретоковый датчик, поверхностная трещина, модуляционный импульс, спектральные характеристики, шум, идентификация.

Постановка проблемы. Процесс дефектоскопии композитных материалов значительно усложняет наличие мешающих факторов, среди которых следует отметить неконтролируемый отвод вихретокового датчика от поверхности диагностируемого изделия и перекося датчика относительно нормали к поверхности, наблюдаемый при ручном режиме сканирования. Ситуация значительно усложняется из-за значительной шероховатости поверхности волокнистого композитного материала, что является источником высокоинтенсивного шума в процессе сканирования этой поверхности вихретоковым датчиком.

Ранее [1] нами для идентификации сигналов поверхностных трещин было предложено использование спектрального параметра идентификации K_h , определяемого как отношение суммы амплитуд гармоник с 6-й до 14-й к сумме амплитуд гармоник этого же сигнала с 1-й по 14-ю. При исследовании зависимости этого параметра идентификации от амплитуды модуляционного сигнала был обнаружен его недостаток — недостаточная чувствительность к увеличению амплитуды сигнала поверхностной трещины [2, 3].

Для устранения указанного недостатка предложена модификация алгоритма вычисления рассматриваемого спектрального парамет-

ра идентификации, которая заключается в использовании другой нормировки суммы гармоник, значимых для данного типа сигнала.

Целью данной работы есть исследование степени различаемости сигналов поверхностных трещин разной амплитуды и сигналов перекоса датчика вихретокового преобразователя фиксированной амплитуды на фоне значительного шума при ручном сканировании с помощью модифицированного спектрального метода идентификации.

Анализ последних публикаций. Исходные данные и алгоритмы обработки сигналов в основном были такими же, как и в предыдущих работах [1-3].

В качестве модели модуляционного сигнала поверхностной трещины использовалась разница экспонент

$$s_1(t) = e^{-b^2 t^2} - k e^{-2b^2 t^2}, \quad (1)$$

где t — текущее время (предполагается приблизительно равномерное перемещение датчика по траектории сканирования); b и k — константы, определяющие форму модуляционного импульса дефекта.

В качестве модели сигнала перекоса вихретокового датчика относительно поверхности композита использовалась параболоида вида

$$s_2(t) = ct^2 + d, \quad (2)$$

где c и d — константы.

Основная часть. Вначале в качестве параметра идентификации K_n использовалась сумма гармоник с 6-й по 14-ю — числитель предложенного ранее в [1] спектрального параметра идентификации.

Относительная амплитуда сигнала перекоса была зафиксирована на уровне 1. Амплитуда сигнала поверхностной трещины (модуляционного импульса) менялась в диапазоне 0, 0.1, ..., 2. Параметр k , который отвечает за форму модуляционного импульса, брали из ряда дискретных значений 1, 0.9 и 0.8. Т.о. исследовались относительно короткие (в сравнении с диаметром вихретокового датчика) трещины. Каждый эксперимент повторялся 10000 раз. Фурье-спектр сигнала вычислялся с использованием окна Гаусса [3, 4].

На рис. 1 представлены результаты исследования зависимости параметра идентификации K_n от стандартного отклонения шума при фиксированных значениях амплитуды модуляционного импульса A при разных значениях формы этого импульса (параметр k).

Предварительный анализ полученных результатов показывает,

что практически во всех случаях исследуемый параметр идентификации для поверхностной трещины превышает по абсолютному значению соответствующие параметры для сигнала перекося вихретокового датчика и чистого шума. Это утверждение не соответствует действительности только в ограниченном диапазоне очень малых амплитуд модуляционного импульса $A \leq 0.2 \div 0.3$ (в зависимости от формы модуляционного импульса). С увеличением амплитуды модуляционного импульса его идентифицируемость улучшается.

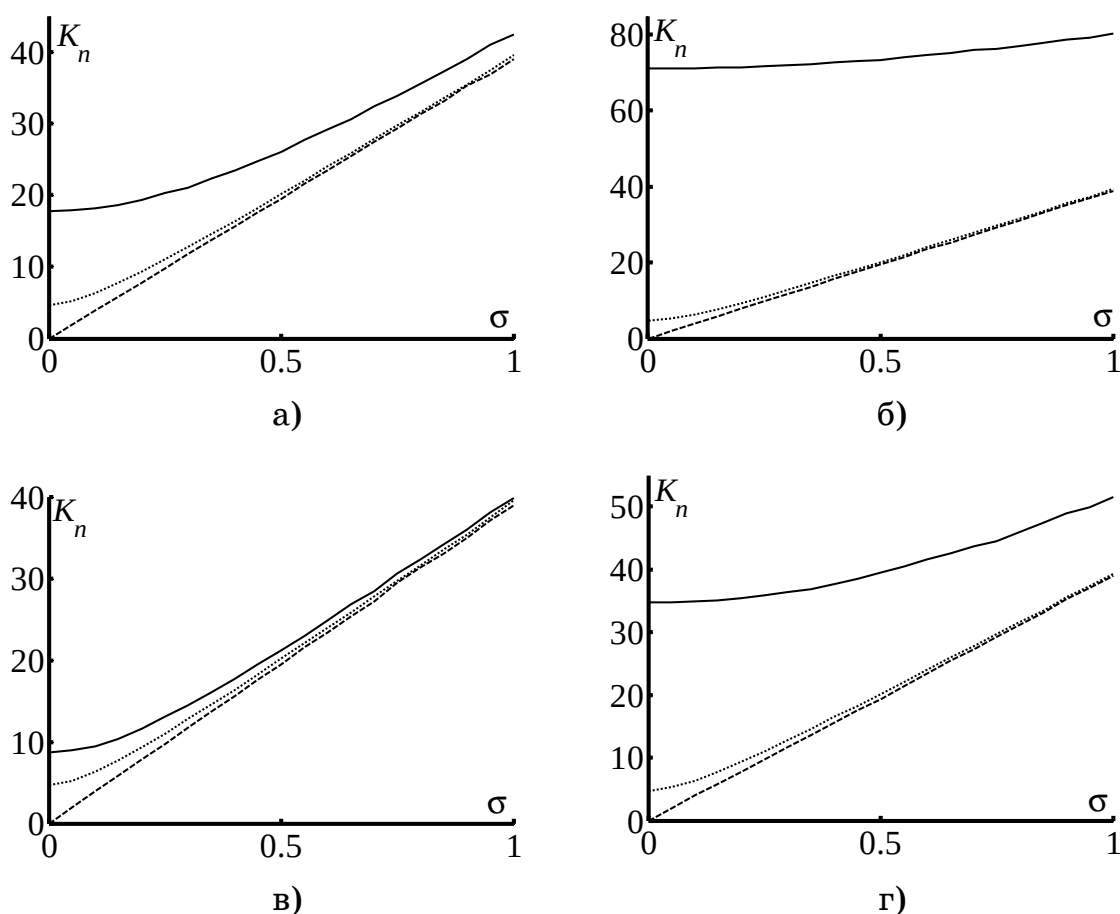


Рисунок 1 - Зависимость информационного параметра идентификации K_n от стандартного отклонения шума σ : $k = 1$ - а), б); $k = 0.8$ - в), г); $A = 0.5$ - а), в); $A = 2$ - б), г);
- уровень сигнала s_1 ; -- уровень сигнала s_2 ; .. уровень шума

На следующем этапе было исследовано поведение параметра идентификации K_{nn} для сигналов поверхностной трещины и перекося вихретокового датчика, нормированного к сумме амплитуд гармоник с 6-й по 14-ю мешающего шума. Такой модифицированный параметр идентификации K_{nn} при значении, равном 1, соответствует чистому

шуму без какого-либо сигнала. На рис. 2а представлены зависимости такого параметра K_{nn} от стандартного отклонения мешающего шума.

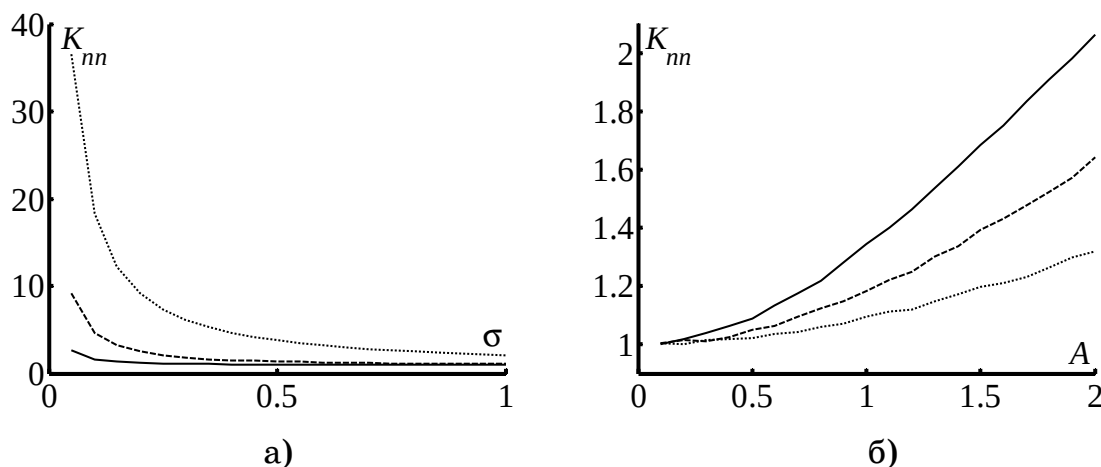


Рисунок 2 - Зависимость нормированного параметра идентификации K_{nn} :

а) от стандартного отклонения шума σ при $k = 1$:

- сигнал s2; -- сигнал s1 при $A = 0.5$; - - сигнал s1 при $A = 2$;

б) от амплитуды сигнала s1 при $\sigma = 1$: — $k = 1$; -- $k = 0.9$; - - $k = 0.8$

Как видно из рис. 2 а, при малых амплитудах модуляционного импульса поверхностной трещины его достаточно сложно отличить от сигнала перекоса вихретокового датчика при наличии шума. При стандартном отклонении шума $\sigma \geq 0.7$ значение исследуемого параметра идентификации K_{nn} для сигнала перекоса датчика, нормированного на сумму гармоник шума с 6-й по 14-ю, падает до значения примерно 1.01. Для модуляционного импульса поверхностной трещины с $k = 1$ и амплитудой 0.4 указанный параметр идентификации опускается примерно до 1.1 — такой сигнал достаточно сложно идентифицировать, так как разница между параметрами идентификации поверхностной трещины и сигнала перекоса датчика составляет $\approx 10\%$. При увеличении амплитуды сигнала поверхностной трещины до 2 параметр идентификации уже не падает ниже значения 2, что позволяет идентифицировать этот сигнал с большей надежностью.

На рис. 2б отображена зависимость указанного параметра идентификации для модуляционного импульса поверхностной трещины от амплитуды и формы этого импульса. Анализ этого рисунка показывает, что более ярко выраженная двугорбая форма модуляционного импульса ведет к более быстрому увеличению параметра иден-

тификации с ростом амплитуды импульса, т.е. к большей вероятности идентификации трещины. Как было сказано выше, исследуемый параметр идентификации для сигнала перекося датчика при этом равен примерно 1.01 и близкие ему значения исследуемого параметра идентификации для модуляционного импульса поверхностной трещины наблюдается в диапазоне малых амплитуд этого импульса. Размер этого диапазона амплитуд плохо выделяемого модуляционного импульса при этом зависит от коэффициента k , т.е. от формы этого импульса.

Для сравнения на рис. 3а и 3б представлены аналогичные зависимости для параметра идентификации K_h , вычисленного по методике, представленной в [1].

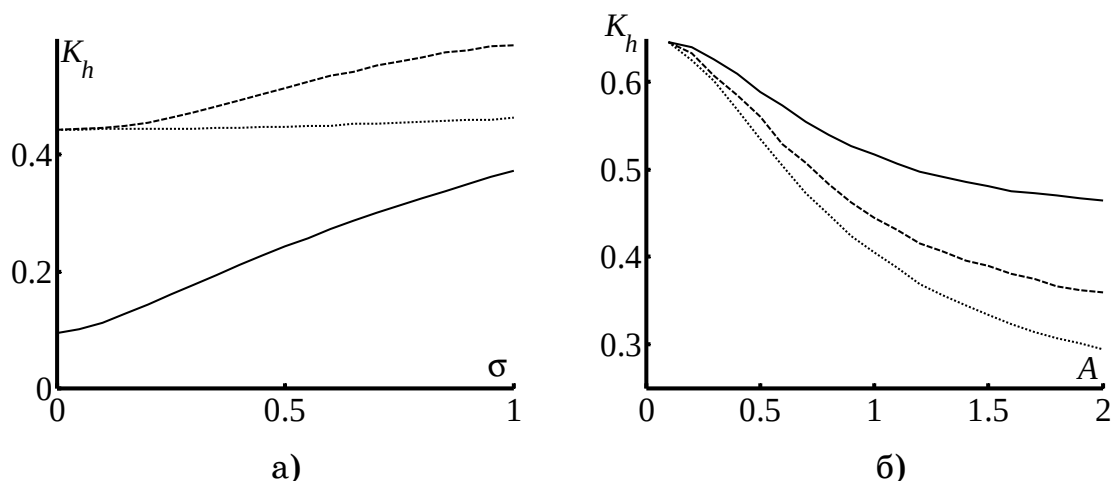


Рисунок 3 - Зависимость информационного параметра идентификации K_h :

а) от стандартного отклонения шума σ при $k = 1$:

- сигнал s2; - - сигнал s1 при $A = 2$; -- сигнал s1 при $A = 0.5$;

б) от амплитуды сигнала s1 при $\sigma = 1$: — $k = 1$; -- $k = 0.9$; - - $k = 0.8$

Рис. 3а показывает, что прежний параметр идентификации K_h для сигнала поверхностной трещины с ростом его амплитуды начинает приближаться к аналогичному параметру для сигнала перекося вихретокового датчика с увеличением стандартного отклонения шума, что ухудшает возможность их различения с помощью этого параметра. Связано это с тем, что с ростом уровня шума параметр идентификации K_h для сигнала перекося вихретокового датчика начинает стремиться к аналогичному параметру для чистого шума — сигнал "прячется" в шуме. На параметр идентификации K_h для сигнала зна-

чительной амплитуды шум влияет менее активно, поэтому этот параметр меняется незначительно в этом диапазоне интенсивности шума. Учитывая, что при $\sigma = 1$ параметр идентификации для сигнала перекоса вихретокового датчика $K_h \approx 0.37$, рис. 3б показывает, что с увеличением амплитуды модуляционного импульса поверхностной трещины даже при $k = 1$ параметр идентификации ненамного отличается от этого значения. Для сигналов с $k = 0.9$ параметр идентификации пересекает этот порог при амплитуде сигнала поверхностной трещины $A \approx 1.7$, а для $k = 0.8$ — уже при $A \approx 1.2$. Т.е. при таком алгоритме вычисления спектрального параметра идентификации наблюдаются определенные сложности с разделением сигналов дефекта и перекоса датчика.

На следующем этапе, используя методику, описанную в [1], были получены рабочие характеристики испытаний по обнаружению и идентификации поверхностных трещин композитных материалов на фоне шума. Полученные рабочие характеристики по методике, изложенной в [3, 5], были преобразованы в карты вероятности обнаружения и идентификации поверхностных трещин в композитных материалах с использованием обоих вариантов спектрального параметра идентификации K_h и K_{nn} . При построении этих карт вероятность ложной тревоги была зафиксирована на уровне $\leq 10\%$ и выбиралась вероятность верного решения — обнаружения и идентификации соответственно. Полученные вероятностные карты представлены на рис. 4.

На рис. 4а и 4б представлена карта вероятности выявления поверхностной трещины на фоне шума с использованием спектральных параметров идентификации K_h и K_{nn} соответственно. Сравнивая эти рисунки, можно сделать вывод, что модифицированный спектральный параметр идентификации K_{nn} позволяет обнаруживать поверхностные трещины в целом с большей вероятностью, чем K_h — площадь зоны с вероятностью обнаружения $\geq 90\%$ занимает более половины соответствующего рисунка.

На рис. 4в и 4г представлены вероятности разделения сигналов поверхностной трещины и перекоса вихретокового датчика с использованием спектральных параметров идентификации K_h и K_{nn} соответственно. Полученные карты вероятности идентификации сигнала показывают, что в области малых амплитуд модуляционного импульса поверхностной трещины лучшие результаты зафиксированы для па-

раметра идентификации K_h , в области же амплитуд, больших по значению 1, лучшие результаты показывает предложенный параметр идентификации K_{nn} .

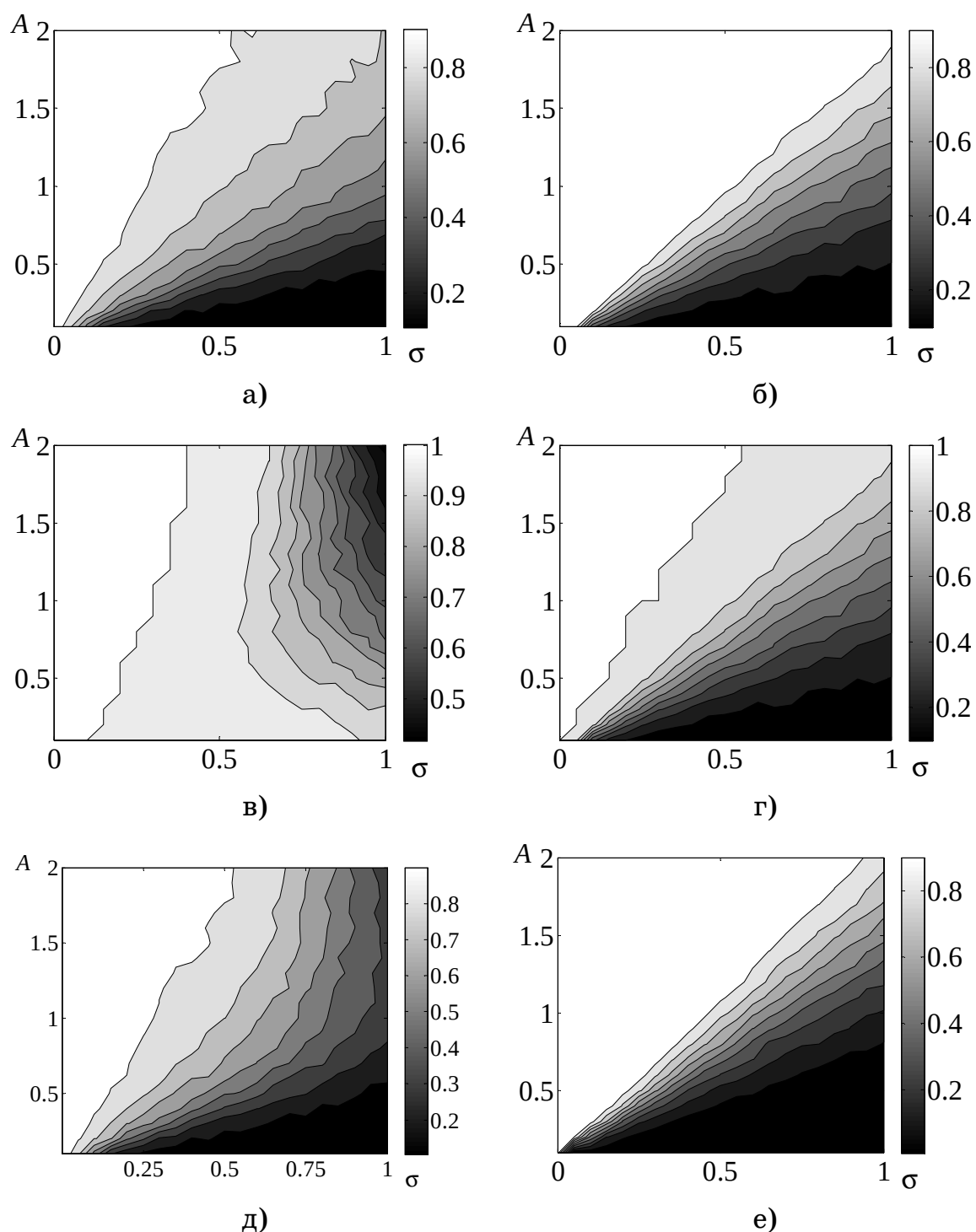


Рисунок 4. Вероятностные карты при $k = 1$: а), в), д) – K_h ;
б), г), е) – K_{nn} ;

а), б) выявление поверхностной трещины;

в), г) идентификация поверхностной трещины;

д), е) совместная вероятность выявления и идентификации

В работе [3] для качественной оценки выявления и идентификации поверхностных трещин с помощью спектрального параметра идентификации предложено использовать карту совместной вероятности выявления и идентификации поверхностной трещины на фоне шума. Такая карта получена путем перемножения соответствующих вероятностей и представлена на рис. 4д и 4е для спектральных параметров идентификации K_h и K_{nn} соответственно.

Сравнивая полученные карты совместной вероятности, можно сделать вывод, что предложенная модификация спектрального параметра идентификации (K_{nn}) в целом значительно повышает вероятность обнаружения и идентификации поверхностных трещин на фоне значительного мешающего шума с увеличением амплитуды модуляционного импульса этих поверхностных трещин. В области же малых амплитуд модуляционного импульса для целей идентификации сигнала более целесообразно использование прежнего спектрального параметра идентификации K_h .

Выводы. Предложена модификация алгоритма вычисления спектрального параметра идентификации поверхностных трещин композитных материалов на фоне высокоинтенсивного шума, обусловленного значительной шероховатостью поверхности изделия и наличия мешающих сигналов перекоса датчика при вихретоковой дефектоскопии. Получены следующие результаты:

- лучшими характеристиками выявления обладает модифицированный спектральный параметр идентификации K_{nn} ;
- для идентификации малых по амплитуде модуляционных импульсов лучше использовать спектральный параметр идентификации K_h ;
- для идентификации сигналов, превышающих по амплитуде сигнал перекоса вихретокового датчика, лучше использовать спектральный параметр идентификации K_{nn} ;
- в области значительных амплитуд модуляционного импульса лучшие вероятностные характеристики в целом имеет модифицированный спектральный параметр идентификации K_{nn} ;
- в области малых амплитуд модуляционного импульса лучшими вероятностными характеристиками обладает предложенный еще в [1] спектральный параметр идентификации K_h .

Таким образом, для получения оптимального качества обнаружения и идентификации поверхностных трещин композитных мате-

риалов на фоне значительного шума и мешающих сигналов перекося датчика при вихретоковой дефектоскопии рекомендуется использовать оба спектральных параметра идентификации K_h и K_{nn} . А именно, для обнаружения сигнала поверхностной трещины использовать K_{nn} . При превышении порога, зависящего от уровня шума, необходимо вычислить еще и K_h . Анализируя полученную пару спектральных параметров, можно сделать вывод о типе модуляционного сигнала, его форме и амплитуде и, соответственно, о геометрических параметрах трещины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хандецкий В.С., Герасимов В.В. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний. // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. 2003. Вип. 10. С. 128-132.
2. Герасимов В.В. Спектральна ідентифікація модуляційних імпульсів різних амплітуд в дефектоскопії композитних матеріалів. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (90) – Дніпропетровськ, 2014. – С. 69-74.
3. Герасимов В.В. Вероятностная спектральная дефектоскопия композитов с использованием оконных функций. // Материалы XV Международной конференции по математическому моделированию МКММ – 2014. Вестник Херсонского национального технического университета. – Выпуск 3 (50) – Херсон: ХНТУ, 2014. – С. 46-50.
4. Хандецкий В.С., Герасимов В.В. Вплив віконних функцій на розпізнавання сигналів в дефектоскопії композитних матеріалів // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Вип. 5 (88).— Дніпропетровськ, 2013.
5. Gerasimov V., Khandetsky V., Gnoevoy S. Research of probability characteristics in defect detection of composite materials using wavelet transform. // Int. J. Materials and Product Technology, Vol. 27, Nos. 3/4, 2006. — P. 210 – 220.

А.В. Горяинов, И.В. Пономарев

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ CMS DRUPAL

Аннотация. Разработан специализированный модуль импорта данных на базе CMS Drupal. Стандартные возможности ядра Drupal расширяются дополнительным модулем, содержащим различные hook-функции. Описывается алгоритм действий, которые необходимы для разработки и создания собственного модуля импорта.

Ключевые слова: DRUPAL, система управления содержимым, CMS, модуль, hook, module, PHPExcel, функция, импорт, PHP, XLS.

Введение. Популярная система создания сайтов Drupal является модульной системой. Ее функциональные возможности реализуются с помощью подключаемых модулей. Большинство пользователей ограничивается использованием существующих официальных модулей или модулей, написанных сообществом Drupal. Но многие при создании сайта на базе системы управления содержимым (CMS) Drupal сталкиваются с проблемой, когда существующие модули не способны в полной мере обеспечить необходимую функциональность. Выход из этой ситуации – написание собственного модуля с использованием языка PHP, который обеспечит выполнение всех необходимых функций.

Постановка задачи. Необходимо проанализировать принципы создания модулей для CMS Drupal и разработать собственный модуль импорта данных.

Основная часть.

Правила организации модулей в Drupal.

Система управления сайтом Drupal построена по модульному принципу: компактный набор служебных функций (ядро) расширяется с помощью модулей. Модуль - это файл, содержащий набор функций на языке PHP. Код модуля может использовать функции, переменные и структуры ядра. В Drupal используется модель *inversion of control* (обратный вызов функции) - программа в нужное время вызывает модули,

обеспечивающие выполнение необходимых функций. Это обеспечивается обработчиками прерываний (hooks).

Новые возможности реализуются за счет установки дополнительных модулей, или благодаря разработке собственных модулей. Модули содержат hook-функции, вызываемые ядром при возникновении каких-либо событий.

Имя hook-функции должно состоять из двух частей: имени модуля и названия события. Каждый модуль для Drupal представляет собой два или более файла, которые располагаются в *sites/all/modules/назва_модуля*. Файлы с расширениями *.info* и *.module* - обязательные, *.install*-файлом можно пренебречь.

Файл с расширением *.info* должен содержать служебную информацию, без которой модуль не будет видно в системе. Также в файле *.info* располагаются три обязательных параметра: название модуля, его описание и версия ядра Drupal, и возможны необязательные параметры: минимальная версия PHP, зависимость от других модулей Drupal и др.

Файл *.install* предназначен для установки модуля на Drupal-сайт и удаления его из системы. В Drupal 7 *.install*-файл должен иметь функции *hook_install* и *hook_uninstall*, достаточно реализовать *hook_schema*, который определяет имя и структуру необходимых таблиц. Файл *.module* - важная часть модуля содержит в себе исходный текст, именно в нем размещается большинство обработчиков прерываний.

Описание библиотеки PHPExcel.

Для написания модуля использовалась удобная объектно-ориентированная библиотека для работы с Excel-файлами **PHPExcel**. Библиотека **PHPExcel** имеет мощные средства для создания таблиц Excel и сохранения этих таблиц в разных форматах. Класс PHPExcel является ядром библиотеки. Он хранит в себе все листы (Sheet) книги Excel. Для установки активного листа (того с которым будем работать), нужно вызвать метод *setActiveSheetIndex()* и передать ему индекс листа по порядку. Метод *getActiveSheet()* вернет активный лист. Это объект класса **PHPExcel_Worksheet**. Класс **PHPExcel_Worksheet** имеет множество методов для работы с листами, ячейками, строками, столбцами и пр.

Для настройки стилей ячейки есть класс **PHPExcel_Style**. Добраться до него можно из активного листа (*\$aSheet*), вызвав метод *getStyle()*: `PHPExcel_Style getStyle ([string $ pCellCoordinate = 'A1'])`

В качестве параметра передается строка с именем ячейки, для которой извлекается класс стилей. В классе стилей есть метод, который позволяет вынести все настройки в массив. Этот метод называется *applyFromArray()*. В качестве параметра ему передается массив с различными настройками.

Для чтения данных в библиотеке **PHPExcel** существует класс **PHPExcel_IOFactory**. В этом классе для загрузки есть статический метод *load()*; *PHPExcel PHP_Excel_IOFactory :: load (string \$ pFilename)*.

Этот метод получает имя xls-файла, который нужно загрузить, а возвращает объект класса **PHPExcel**, с уже загруженными данными. После чего можно делать изменения в таблице с помощью вызова нужных методов класса **PHPExcel**.

Описание модуля и его работы

Разработанный модуль **sheetnode_phpxcel**, встроенный в пакет **sheetnode**, состоит из следующих файлов:

sheetnode_phpxcel.info – файл со служебной информацией;
sheetnode_phpxcel.module – основной файл созданного модуля;
sheetnode_phpxcel.import.inc – файл с реализацией вспомогательных функций.

В файле **sheetnode_phpxcel.info** содержится служебная информация. В основном файле модуля **sheetnode_phpxcel.module** реализована функция *hook_menu()*, в какой в цикле *foreach* в зависимости от значения *\$plugin* заполняется массив *\$items*. Значение *\$plugin* возвращает API-функция, которая предназначена для извлечения существующих **PHPExcel** плагинов *sheetnode_phpxcel_get_plugins()*.

Hook_menu() возвращает массив *\$items*, массив пунктов меню, которые добавляются модулем. Для импорта файла добавляются следующие адреса: *\$items ["node/add/\$format"]* - непосредственно при импорте файла; *items['admin/settings/sheetnode/phpxcel']* - ссылка на редактирование настроек модуля импорта файла, расположенного в профиле администратора Drupal, в подразделе «Настройка сайта».

В массив *\$items* добавляется массив, содержащий настройки данных пунктов меню. Ключом массива является ссылки пунктов меню.

При выборе одного из пунктов меню вызывается функция, которая указана в элементе *page_callback* вложенного массива. Это функция *drupal_get_form()*, которая получает в качестве аргументов данные записанные в элементе *page arguments*. В результате Drupal вернет следующие

формы: *_sheetnode_phpexcel_import_form* и формат *\$format* при импорте файла; *_sheetnode_phpexcel_settings* при настройке модуля.

Функция *batch_set(\$batch)* устанавливает и передает операции, заданные в пакете *\$batch*, которые должна выполнить функция *batch_process(\$destination)*.

Функция *_sheetnode_phpexcel_batch_import_file()*, которая реализована в файле *sheetnode_phpexcel.import.inc*, в качестве параметра принимает *\$callback* и ссылки на контекст *&\$context* (в котором хранится считываемая информация, соответствующая текущему состоянию). Если книга еще не загружена (*empty(\$context['sandbox']['workbook']) = TRUE*), то эта функция загружает новую книгу *workbook* и получает количество писем - *worksheets*. Если книга загружена, то продолжаем с ней работать - создается *sheetnode* для текущего листа. Затем вызывается функция, переданная через параметр *\$callback* (если функции *_sheetnode_phpexcel_batch_import_file()* был передан параметр *\$callback*) и сохраняется *sheetnode*. *\$callback()* позволяет другим модулям изменить *sheetnode*, или сделать другие дополнительные действия

```
if (! empty ($ callback) && function_exists ($ callback))
    { $ callback ($ node, $ params, $ context) }
```

Далее обновляется информация прогресса. При создании *sheetnode* вызывается функция *_sheetnode_phpexcel_import_do()*, которая «читает» *excel*-файл и заполняет *SocialCalc* структуру *\$sc*. При заполнении структуры вызывается функция *_sheetnode_phpexcel_import_cell()*, которая проходит по всем ячейкам, определяет тип содержимого и заполняет *\$sc['cells'][\$cell>getCoordinate()]* с помощью дополнительного массива *\$c*.

Подключение и пример работы модуля *Sheetnode RHPExcel*

Созданные файлы модуля необходимо скопировать в папку */modules/sheetnode/modules/sheetnode_phpexcel/*. Модуль импорта/экспорта *Sheetnode RHPExcel* включается на странице «Администрирование → Конструкция сайта → Модули». Далее, необходимо перейти на страницу создания материала и выбрать новый пункт «Импорт из *XLS* файла. Создание нового письма с содержанием существующих таблиц». Выбирается **.xls* файл, например *ant.xls*, содержание которого приведено на рисунке 1.

	A	B	C	D	E
1	№	Арктикул	Название	Картинки	Цена
2	1	201	Кухня угловая - венге 3400мм x 850мм	/img/catalog/1.jpg	87000
3	2	202	Кухня крем-бордо 3900мм x 600мм	/img/catalog/2.jpg	6500
4		203	Кухня угловая с барной стойкой	/img/catalog/3.jpg	2345

Рисунок 1 - Содержимое файла для импорта

После нажатия кнопки «Отправить» можно увидеть процесс загрузки файла (или пакета файлов) в виде графической шкалы. Далее высветится сообщение об успешном выполнении операции или сообщение с текстом ошибки. В данном случае файл импортировано успешно. Вид страницы с импортированным файлом представлен на рисунке 2.

[Главная](#)
[Каталог](#)
[Столешницы](#)
[Новая мебель](#)
[Новости](#)
[импорт](#)

0562 32-88-88
050 340-27-87

Лист1

Интересные ссылки

- В дом
- Салон-Интерьер
- Идеи Вашего дома
- Про интерьер и дизайн
- Дизайн интерьера

Войти в систему или зарегистрироваться

№	Арктикул	Название	Картинки	Цена
1	201	Кухня угловая - венге 3400мм x 850мм		87000
2	202	Кухня крем-бордо 3900мм x 600мм		6500
		Кухня угловая с барной 203 стойкой		2345

Рисунок 2 - Вид страницы с импортированным файлом

Пример использования разработанного модуля можно увидеть на сайте ant.dp.ua.

Выводы. Рассмотрены основные особенности внутренней организации модульной структуры Drupal, принцип действия hook-функций. Стандартные возможности ядра расширяются разработанным дополнительным модулем, с использованием специализированной библиотеки. Описана разработка модуля и его работа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тодд Томлинсон. CMS Drupal 7. Руководство по разработке системы управления веб-сайтом. Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2011 – 560 с.
2. Victor Kane. Leveraging Drupal: getting your site done right. – Wrox, 2009 – 480p.

A.I. Ivon, V.F. Istushkin, R.I. Lavrov

USING OF RASTER IMAGES FOR MEASUREMENT OF TIME CONSTANT τ OF EXPONENTIAL PULSES

Abstract. Method for measurement of time constant τ of exponential pulses was developed. Method uses the scan data of raster images of analog oscillograms, obtained by means of a digital photcamera. Programme for method realization was created by means of the languages HTML, CSS, JavaScript and jQuery library. Any Internet browser is the software environment for use of this programme. The measurement error of method is no more than $\pm 1\%$.

Introduction. The merit of analog oscilloscopes in comparison with digital oscilloscopes is the direct recording without the intermediate conversions. However, a low accuracy of measurement of voltages and time intervals is a grave disadvantage of such oscilloscopes. The relative error usually has values of $\pm (5 - 10) \%$ [1]. As was shown in the work [2], measurement error can be decreased, if to use for measurement of instantaneous voltages and time intervals the raster images of analog oscillograms, obtained by means of a digital photcamera. If to perform the scan of such images in graphics editors and then to process scan data, the error can be decreased up to the values no more than $\pm 1,5\%$ [2].

The means of Web 2.0 technology give significant possibilities for a creation of programmes intended for the processing of raster images of analog oscillograms [3]. These means are the languages HTML, CSS, JavaScript and jQuery library. HTML and CSS allow create comfortable interface in a form of the web page. JavaScript and jQuery library give means for load of raster images, their scanning, processing of the scan data and display of final results. Any Internet browser can be used as the software environment for programmes created by means of the software mentioned above. We have used the means of Web 2.0 technology for software development in the present work.

Problem definition. Development of software, allowing with a high precision to define the time constant of exponential pulses from the scan

data of raster images of oscillograms, obtained by analog oscillographs is the aim of present work.

Major part. Raster images of oscillograms for calibration voltage U_C and single exponential pulse are shown in the Fig. 1. These images were obtained from a screen of the storage oscilloscope C8-11 by means of digital photcamera OLYMPUS. Both oscillograms were registered at the same amplification. In Fig. 1b horizontal line in a bottom of image corresponds to zero voltage. In Fig. 1a distance between the straight lines corresponds to the calibration voltage $U_C = 100V$.

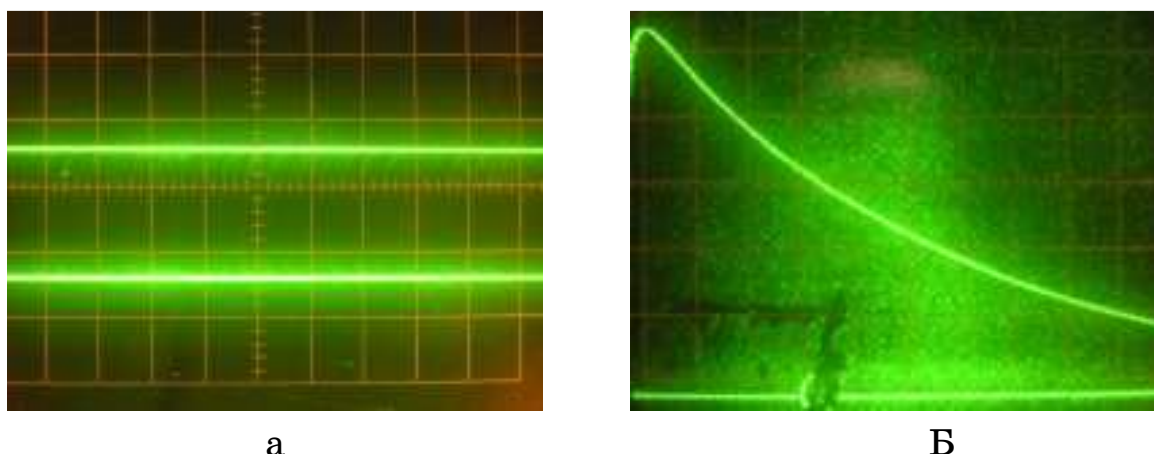


Figure 1 - Raster images of oscillograms for calibration voltage $U_C = 100$ (a) and for exponential pulse of voltage (b).

The time scale $50 \mu s / \text{division}$

Upper left corner of raster image is the origin of coordinates for any its point. Relatively origin of coordinates, x coordinate is the point offset in horizontal direction (time axis of oscillogram); y coordinate is the point offset in vertical direction (voltage axis of oscillogram). Coordinates x, y in pixels for any point of the raster image of oscillograms can be obtained by means of the scan in graphics editors.

The scan at same coordinates x for lines in the Fig. 1a allows obtaining coordinates x, y_{C1} and x, y_{C2} . Then the scale of voltage Mu in V/pixel can be found as

$$Mu = U_C / |y_{C1} - y_{C2}|. \quad (1)$$

On base of scale Mu can be defined the instantaneous voltage $U(t)$ in any points of oscillogram for raster image in the Fig. 1b. For this it is necessary to perform the coordinate scan for point of pulse line (x, y) and for zero line (x, y_0) at the same x coordinate. The value of x

corresponds to chosen time moment t . From these coordinates the instantaneous voltage $U(t)$ can be calculated by formula:

$$U(t) = Mu|y - y_0|. \quad (2)$$

As is well known, time dependence of voltage for the pulses with exponential shape is described by expression:

$$U(t) = U_0 \exp(-t/\tau), \quad (3)$$

where U_0 is the pulse amplitude, τ is the time constant.

If scan of the coordinates begin for pulse line from x_1 coordinate, corresponding to time moment t_1 and to voltage $U(t_1) = Mu|y_1 - y_0|$, the expression (3) can be presented as

$$U(t) = U(t_1) \exp\left(-\frac{t - t_1}{\tau}\right), \quad (4)$$

where the time interval $t - t_1 = Mt(x - x_1)$.

The scale of time Mt for raster image can be defined at known oscilloscope time scale if to use the data of scan (x_{c1}, y) , (x_{c2}, y) obtained for time interval T_C in the graticule of oscilloscope. In this case the scale of time (time unit/pixel) is defined by formula:

$$Mt = T_C / |x_{c1} - x_{c2}|. \quad (5)$$

As from expression (4) follows, the linear dependence takes place in coordinates $\ln(U(t)) \sim t$ for exponential pulses. It allows defining time constant τ as

$$\tau = \Delta t / \Delta \ln(U(t)), \quad (6)$$

where Δt is the time increment; $\Delta \ln(U(t))$ is the increment for natural logarithm of voltage.

It should be noted, that taking into account expression (2) $\Delta \ln(U(t)) = \Delta \ln(|y - y_0|)$. Consequently, the scale of voltage Mu can be excluded at determination of time constant τ . In this case the increment for logarithm of voltage is calculated by values of coordinates in pixel obtained at scan of the raster image of oscillogram.

The array of time $t_i = Mt|x_i - x_1|$ and the array of voltage $U_i(t_i) = Mu|y_i - y_0|$ ($i = 1, 2, \dots, N$) can be obtained by scan of pulse line and zero line in raster image of oscillogram in a chosen time interval $t_i = Mt|x_i - x_1|$. It is necessary the array of voltage $U_i(t_i)$ to transform in the array of natural logarithm of voltage $\ln(U_i(t_i))$ for determination of time constant τ for exponential pulse. Straight line $\ln U = b + at$ can be drawn through the points of this array by means of the least-squares

method (linear regression). Module of inverse value of a coefficient in equation of this line according to (6) is the value of τ ($\tau = |1/a|$).

Value a at the linear regression is determined by relationship:

$$a = (\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}) / (\overline{x^2} - \bar{x}^2), \quad (7)$$

where in our case

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i; \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(U_i(t_i)); \overline{x^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i^2; \overline{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \ln(U_i(t_i)) \quad (8)$$

and $t_i = Mt|x_i - x_l|$, $U_i(t_i) = Mu|y_i - y_0|$.

Fig. 2 illustrates a scattering of the points, obtained at scan of oscillogram in raster image relatively the regression line. Thick solid line shows the regression line. In Fig. 2 Δ is the mean-square deviation of scan points relatively the regression line $\ln U = b + at$. This deviation can be calculated by formula:

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (\ln(U_i(t_i)) - b - at_i)^2} \quad (9)$$

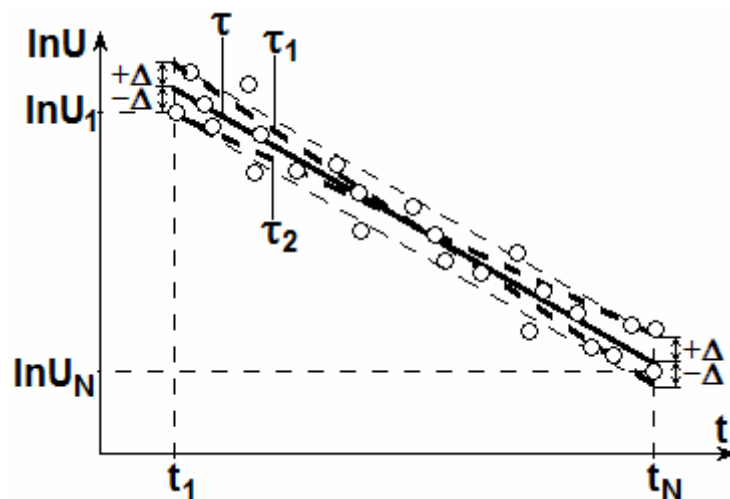


Figure 2 - Scattering of the scan points relatively the regression line

The absolute error $\Delta\tau$ and the relative error δ at measuring of time constant τ can be determined at using of Δ value. Taking into account mean-square deviation Δ , the straight lines through scan points can be drawn by two way with the maximum deviation from the regression line, as it is shown in the Fig. 2 by the thick dotted lines. Two values of time constant τ_1 and τ_2 are defined by the slope of these lines. These values allow finding the negative $\tau_1 - \tau$ and the positive $\tau_2 - \tau$ abso-

lute errors. Analysis has shown that these errors are defined by expressions:

$$\tau_1 - \tau = \frac{-2\tau^2\Delta}{t_N - t_1 + 2\tau\Delta}; \quad \tau_2 - \tau = \frac{2\tau^2\Delta}{t_N - t_1 - 2\tau\Delta}. \quad (10)$$

From the Eq. (10), when $2\tau\Delta \ll t_N - t_1$ values of $\Delta\tau$ and δ are defined as

$$\Delta\tau = \pm \frac{2\Delta}{a^2(t_N - t_1)} = \pm \frac{2\tau^2\Delta}{(t_N - t_1)}, \quad (11)$$

$$\delta = \pm \frac{2\Delta}{a(t_N - t_1)} 100\% = \pm \frac{2\tau\Delta}{(t_N - t_1)} 100\%. \quad (12)$$

On base of above-mentioned method the programme for measurement of the time constant of exponential pulses was developed. Programme was created by means of the languages HTML, CSS, JavaScript and jQuery library.

Fig. 3 shows the initial view of programme window opened in Google Chrome browser. Programme interfaces contain the buttons for control of data processing, as well as the fields of forms and the tables for load of initial data, output of scan data and results of data processing. In the top left angle of browser window are displayed the coordinates x and y for current position of cursor. At click by mouse these coordinates are transmitted to the arrays of data in programme and appear in the table columns «X», «Y» (Fig. 3). As required, user can delete data entered to the table beginning from the last row. It ensures a pressing of the button “Удалить строку”.

Programme uses the button “Выберите файл” for load raster image of oscillogram to the browser window. Sequential transition to the different stages of data processing takes place at pressing of the button “Продолжить”. Programme displays interface of stages in the block “Инструментарий”. Interface for the every stages contains necessary set of buttons and fields of forms for data input-output as well as user instruction for the given stage. The button «Сброс» assigned for cleaning of tables and fields as well as for return to the initial state of programme.

Programme sequentially performs the following stages for processing of raster images of oscillograms: 1) loading of image; 2) assignment the quantity of scan points in raster image; 3) determination of time scale; 4) scan of zero line of voltage; 5) scan of pulse line and calculation of time constant τ . In the block “Инструментарий”, programme has the individual

interface for every processing stage. It uses the functions `show()` and `hide()` of jQuery library for display and concealment of these interfaces. The object `FileReader` is used in programme for the loading of image file to browser window. Current coordinates of cursor x , y are recorded by means of the event “mousemove” (move of the cursor). The properties “offsetX” and “offsetY” of object “event” are used for this aim. Script with the function “text()” of jQuery library ensures the display of current coordinates.

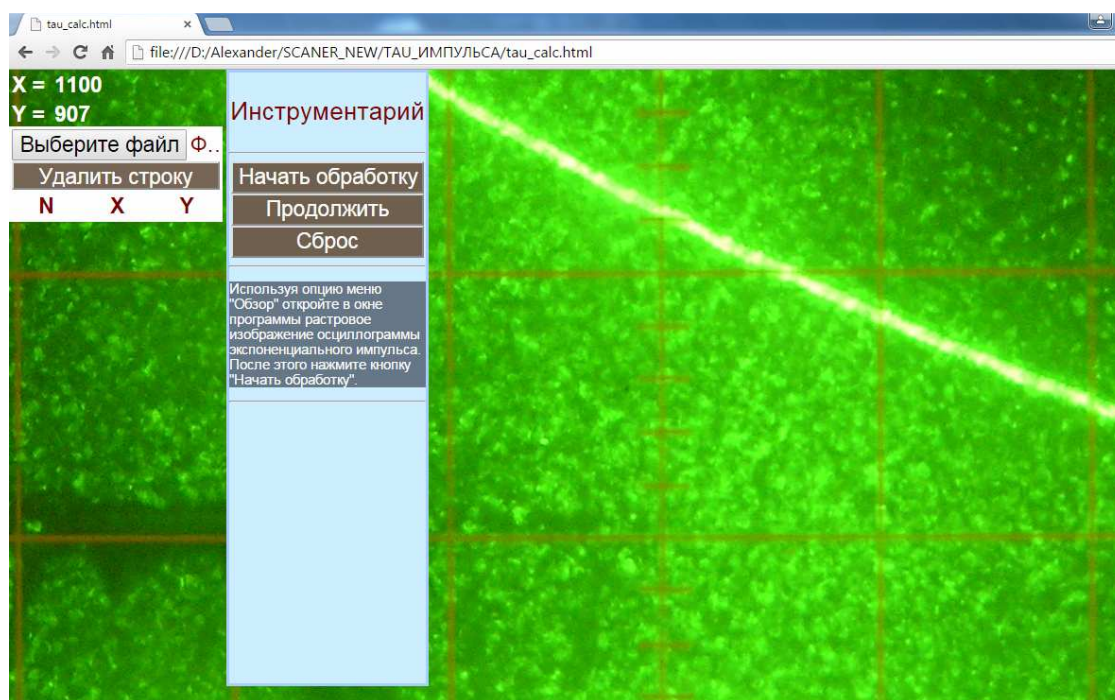


Figure 3 - Initial view of programme window with the loaded raster image of oscillogram. A part of oscillogram in Fig 1b are displayed in browser window

Image processing begins after pressing of the button “Начать обработку”. Scan of calibration time interval, zero line and pulse line takes place by means of the event “click” (press of the left mouse button). At the last stage of processing after pressing of button “Вычислить”, programme calculates the time constant of exponential pulse τ , the absolute $\Delta\tau$ and the relative δ errors. It uses the formulas presented above. Results are displayed in the forms of interface (Fig. 4).

A high resolution of raster images and a small scan error ($\pm(1 - 2)$ pixels) ensure a high measurement accuracy of τ by means of raster images of oscillograms. The relative error no more than $\pm 1\%$. Method allows defining τ using relatively small parts of the raster image of oscillogram. In the case of rectangular pulse, this gives possibility to define the time con-

stant of a transient process which gives distortion of pulse front. At measurement of time constant τ for such process it is necessary to perform the scan of raster image in the region of pulse front.

Conclusion. Method for determination of the time constant τ of exponential pulses by data obtained at scan of raster image of oscillograms was developed. Programme for method realization was created by means of the languages HTML, CSS, JavaScript and jQuery library. Internet browsers are the software environment for this programme. Relative error of the determination of time constant τ by scanning data of raster image of oscillograms no more than $\pm 1\%$.

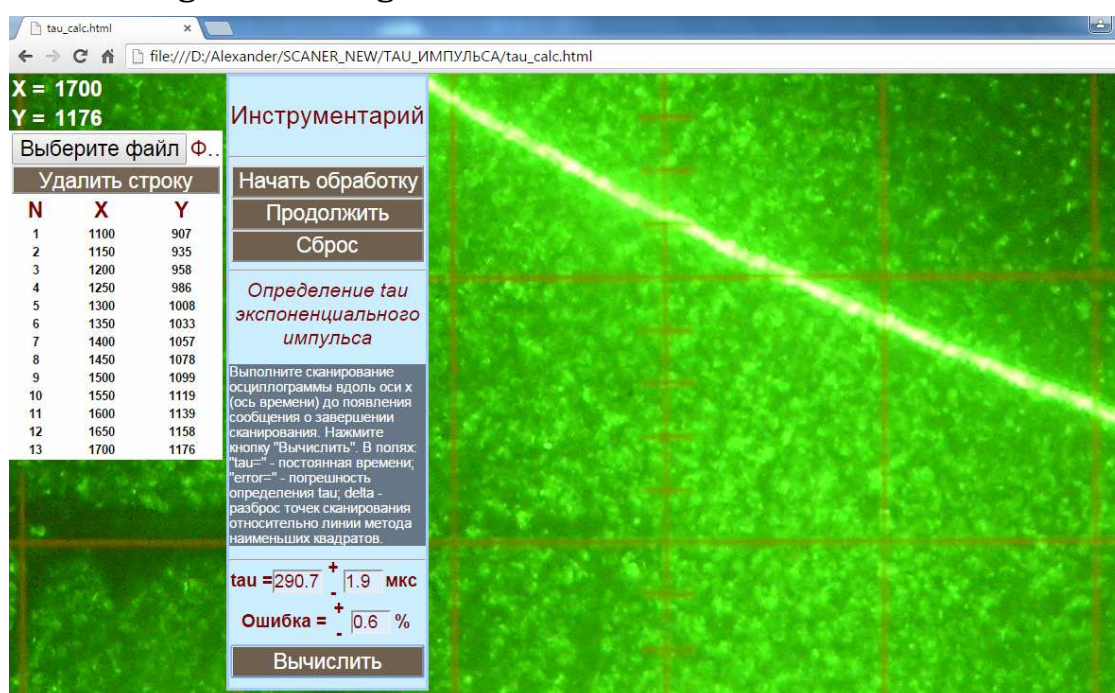


Figure 4 - Programme window at the final stage of processing of raster image

REFERENCES

1. Дедюхин А.А. Основные характеристики современных осциллографов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.prist.ru/info.php/articles/general_ch_modern_oscilloscopes.htm – Загл. с экрана.
2. Ivon A.I. Application of bitmaps for increasing data processing accuracy in physical experiment [Text] / A.I. Ivon, Y.A. Ivon, R.I. Lavrov // System technologies: coll. articles. – Dnepropetrovsk, 2014. – Issue 1 (90). – P. 10 – 17.
3. Дронов В. HTML 5, CSS 3 и Web 2.0. Разработка современных Web-сайтов [Текст] / – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 416 с.

A.I. Ivon, V.F. Istushkin, A.A. Lischenko

**MEASUREMENT OF GEOMETRIC PARAMETERS
OF PLANE FIGURES IN RASTER IMAGES**

Abstract. Method for measurement with the high precision of geometric parameters of plane figures in raster images is presented. The length and the area of such objects are defined from scan data of their coordinates. Programme for method realization was created. Internet browsers are the software environment for its using.

Introduction. Data of electron microscopy usually presents as the raster images. Such images have the scale interval of known length L_0 . This interval allows defining the scale of raster image. It gives possibility to measure the length and the area of objects in photomicrography of electron microscope.

Geometric parameters for the small objects of plane surface can be measured with the high precision if to use raster images. It is important, because for such objects the precise measurement of size by micrometer is impossibility. However, as shown in [1], if we obtained the raster image of surface by means of digital photcamera with a high resolution, the sizes of surface objects can be defined with absolute error is close to micrometer errors, which have the values from 2 μm to 50 μm for different accuracy classes of micrometers.

Problem definition. Development of the measurement method of geometric parameters of plane figures in raster images and the creation of program for method realization is the aim of present work.

Major part. Upper left corner of raster image is the origin of coordinates for any its point. Relatively origin of coordinates, x coordinate is the point offset in horizontal direction; y coordinate is the point offset in vertical direction. Coordinates x , y in pixels for any point of raster image can be obtained at the scan of image in graphics editors.

For measurement of geometric parameters (length and area) for objects of raster image it is necessary to define the scale Ml using the scale in-

terval L_0 . At scan of this interval coordinates (xm_1, ym_1) and (xm_2, ym_2) in pixels can be obtained. Then $Ml=L_0/|xm_1-xm_2|$ for the scale interval with horizontal disposition and $Ml=L_0/|ym_1-ym_2|$ for such interval with vertical disposition. Ml value actually determines the absolute error of length measurement, since the scan error is ± 1 pixel. This error decreases with increasing a resolution of digital photcamera used for obtaining of the raster image. The dimensions and the area of object in raster image can be measured by the scan of object. For objects with arbitrary shape the calculation of area S can be reduced to calculation of area for ellipse and polygon.

For the length measurement of any object in raster image it is necessary to perform a scan of two points in the edges of object in given direction. It gives coordinates x_1, y_1 and x_2, y_2 . The value of object length is determined by formula:

$$l = Ml\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}. \quad (1)$$

The length measurement is indirect, since l is calculated by formula (1). This formula uses coordinates x_1, y_1 and x_2, y_2 obtained by the direct measurements with error of scan $\Delta = \pm 1$ pixel. As is well known [2], the absolute error Δl of indirect measurement is defined by the modules of partial derivatives. Then on the base of equation (1) can be calculated Δl and the relative error of length measurement δ as

$$\delta = \pm \frac{\Delta l}{l} 100\% = \pm 2\Delta \frac{|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|}{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} 100\%. \quad (2)$$

For the plane figures of raster image in shape of circle or ellipse, the area S_e can be calculated by known formula:

$$S_e = \frac{\pi}{4} ab, \quad (3)$$

where a and b are lengths of the major axes of ellipse. Scan of points in the edges of major axes it is necessary to perform for measurement of their length. It gives coordinates $(x_{a1}, y_{a1}, x_{a2}, y_{a2})$ and $(x_{b1}, y_{b1}, x_{b2}, y_{b2})$. On the base of these coordinates and formulas (1), (3), the area of elliptical object S_e can be presented as

$$S_e = \frac{\pi}{4} Ml^2 \sqrt{((x_{a1} - x_{a2})^2 + (y_{a1} - y_{a2})^2)((x_{b1} - x_{b2})^2 + (y_{b1} - y_{b2})^2)}. \quad (4)$$

As it follows from the equation (3), relative error of area definition δ_{S_e} for the elliptical objects is equal

$$\delta_{Se} = \frac{\Delta S_e}{S_e} 100\% = \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \right) 100\% \quad (5)$$

At using of the equations (5), (4) and (3) relative error δ_{Se} can be calculated as

$$\delta_{Se} = \pm 2\Delta \left(\frac{|x_{a1} - x_{a2}| + |y_{a1} - y_{a2}|}{(x_{a1} - x_{a2})^2 + (y_{a1} - y_{a2})^2} + \frac{|x_{b1} - x_{b2}| + |y_{b1} - y_{b2}|}{(x_{b1} - x_{b2})^2 + (y_{b1} - y_{b2})^2} \right) 100\% \quad (6)$$

The area of plane figures in a shape of polygon can be defined from the coordinates for vertex of angles. Fig.1 shows polygon in the coordinate system of raster image. Scan of angles should be performed in series clockwise beginning from any angle of polygon. As can see from the Fig.1, the areas of trapeziums ($S_{12}, S_{23}, S_{34}, S_{45}, S_{56}, S_{67}, S_{71}$) are related to the area of polygon S_{pol} by expression:

$$S_{pol} = S_{12} + S_{23} + S_{34} - S_{45} - S_{56} - S_{67} - S_{71}. \quad (7)$$

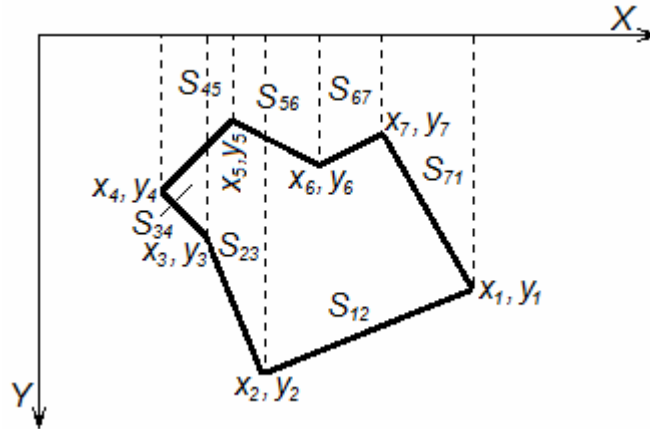


Figure 1 - Polygon in coordinate system of raster image

When a quantity N of polygon angles is arbitrary, the equation (7) has a view:

$$S_{pol} = \sum_{i=1}^{N-1} S_{i(i+1)} + S_{N1}, \quad (8)$$

where the area of trapeziums $S_{i(i+1)} = Ml^2(y_i + y_{i+1})(x_i - x_{i+1})/2$ in the range $1 \leq i \leq N-1$ and $S_{N1} = Ml^2(y_N + y_1)(x_N - x_1)/2$.

Length of the base of trapeziums is defined as differences of coordinates $(x_i - x_{i+1})$ and $(x_N - x_1)$. In the sum of equation (8) these differences ensure the correct sign for $S_{i(i+1)}$ and S_{N1} when scan of angles is performed clockwise in series.

Thus the area of plane figure in shape of polygon having N of angles can be found from the coordinates of angles x_i, y_i ($1 \leq i \leq N$) by formula:

$$S_{pol} = \frac{Ml^2}{2} \left((y_N + y_1)(x_N - x_1) + \sum_{i=1}^{N-1} (y_i + y_{i+1})(x_i - x_{i+1}) \right). \quad (9)$$

Taking into account the absolute error of coordinate scan $\Delta = \pm 1$ pixel, on the base of equation (9) can be obtained the expression for relative measurement error of the area for object having a polygonal shape:

$$\delta_{pol} = \frac{\Delta S_{pol}}{S_{pol}} 100\% = \pm 2 \frac{|x_N - x_1| + \sum_{i=1}^{N-1} |x_i - x_{i+1}|}{(y_N + y_1)(x_N - x_1) + \sum_{i=1}^{N-1} (y_i + y_{i+1})(x_i - x_{i+1})} 100\%. \quad (10)$$

On the base of presented above results, programme for the measurement of geometric parameters of objects in the raster images was created by means of the languages HTML, CSS, JavaScript and jQuery library.

Programme allows measuring the length and the area of objects in raster image and calculates the errors of such measurements. It performs the processing of raster image using the following stages: 1) image loading in window of programme; 2) determination of the image scale by scan of coordinates for the scale interval L_0 ; 3) choice of measurable object (straight line, ellipse, polygon); 4) scan of measurable object; 5) calculation of geometric parameters and measurement errors; 6) display of the measurement results.

At beginning of every stage the window with user instruction is opening. Current coordinates of cursor are recorded in a script by means of the event “mousemove”. They display in the left top angle of browser window (Fig. 2). Programme script performs coordinate scan by means of the event “click”, when click in a given point of raster image takes place. Scan data are used for calculation according the formulas presented above. Fig. 2 shows window of programme for the final stage of its performance. Programme is opened in the Google Chrome browser.

Raster image can be loaded to the browser window at using of menu option “Выберите файл” (Fig. 2). In Fig. 2 the image scale $0.60 \mu\text{m}/\text{pixel}$ was defined at scan of interval $L_0 = 50 \text{ мкм}$ in a bottom of image. These scan data are presented in the table below the word “Линейка”. The button “Многоугольник” was set for area measurement of crystallites on a surface shown in

raster image. A scan of the chosen objects can be performed after a pressing of the button “Начать измерение”. The scan data are presented in the table below the word “Объект”. In the course of scanning, after three clicks in points of raster image, the button “Завершить” appears in place of the button “Начать измерение”. Pressing of this button ensures the data transmission to script for calculation of the area and the error by formulas (9), (10). Results of measurement are displayed below the word “Результаты” (Fig. 2). The button “Прямая” is set at measurement of the length. The buttons “Эллипс” or “Многоугольник” are set at measurement of the area.

Conclusion. Method for the measurement of geometric parameters of plane figures in the raster images was developed. The length and the area of such objects are defined with high precision from the scan data of their coordinates. Programme for method realization was created by means of the languages HTML, CSS, JavaScript and jQuery library. Internet browsers are the software environment for this programme.

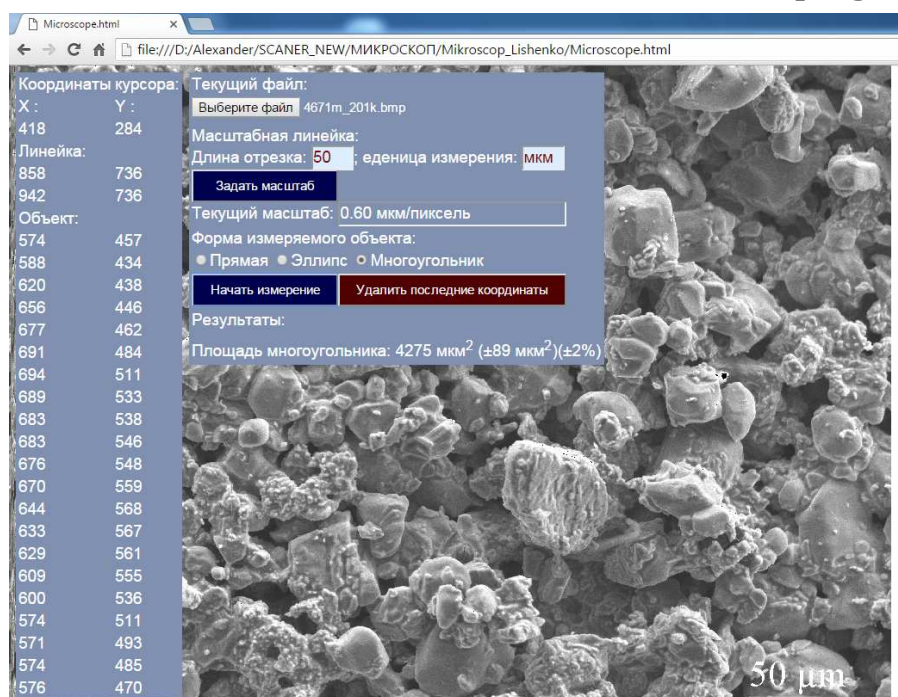


Figure 2 - Window of programme at final stage of the measuring process

REFERENCES

1. Ivon A.I. Application of bitmaps for increasing data processing accuracy in physical experiment [Text] / A.I. Ivon, Y.A. Ivon, R.I. Lavrov // System technologies: coll. articles.—Dnepropetrovsk, 2014. – Issue 1 (90).—P.10–17.
2. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст] / П.В. Новицкий, И.А. Зограф – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304с.

Н.В. Карпенко, Л.Я. Мартинович, Д.О. Безотосний
**МОДЕЛЮВАННЯ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ
ЗАМІЩЕННЯ-ПРОНИКНЕННЯ**

Анотація. За допомогою комп'ютерного моделювання одержано залежності періоду кристалічної решітки від вмісту розчинених атомів для твердих розчинів заміщення, проникнення та твердих розчинів змішаного типу.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, твердий розчин, період кристалічної решітки.

Вступ. Одним із перспективних напрямків створення нових матеріалів, що володіють спеціальними властивостями, є легування. У результаті введення у базовий сплав додаткових елементів виникають нові фази та тверді розчини на основі вже існуючих фаз. Легування впливає на електронну та дислокаційну структуру металу.

У твердих розчинах кількість заміщених атомів може змінюватись у широкому діапазоні, але розчинність атомів проникнення велими обмежена. Атоми легуючого елемента створюють бар'єри на шляху рухомих дислокацій, впливають на характер та величину міжатомної взаємодії у сплаві, значення коефіцієнта дифузії, пружність, міцність твердого розчину тощо [1].

В останній час спостерігається зацікавленість до нових матеріалів, легованих бором [2-3]. Маючи малий атомний радіус, порівняно із радіусом атомів металів, бор може як заміщати атоми металу, так і проникати у міжатомні пори, утворюючи тверді розчини змішаного типу «заміщення-проникнення». Однак механізм і кінетика утворення твердих розчинів змішаного типу недостатньо вивчені, що негативно впливає на прогнозування властивостей нових сплавів. Тому метою даної роботи є моделювання твердих розчинів змішаного типу на основі заліза.

Утворення твердих розчинів у сплаві досить легко прогнозувати, проводячи рентгеноструктурний аналіз. Так, інтенсивність інтерференційних ліній, особливо із великими індексами, на рентгеногра-

мах легованих твердих розчинів менша, ніж інтенсивність тих самих ліній нелегованого твердого розчину (базова фаза). Поряд із цим інтенсивність суцільного фону збільшена. Окрім того, спостерігається зміна значення періоду кристалічної решітки базової фази.

Враховуючи те, що усім металам та сполукам притаманна розчинність у твердому стані, то найбільш цікавим є питання про розчинність у кожному конкретному випадку. На підставі багатьох експериментальних дослідів Юм-Розері [4] сформулював загальні правила відносно границь розчинності у твердому стані, які вказують на залежність розчинності від різниці атомних радіусів взаємодіючих елементів, від їх хімічної спорідненості та валентності.

Згідно закону Вегарда, параметр кристалічної решітки твердого розчину може бути знайдений шляхом лінійної інтерполяції між параметрами решіток вихідних сполук за наступною формулою:

$$a = a_0 + (a_1 - a_0) \cdot c, \quad (1)$$

де a_0 і a_1 – періоди решітки базової фази та розчиненого компонента, відповідно; c – концентрація розчиненого компонента. Але цей закон працює лише для низьколегованих сплавів. Пізніші дослідження подвійних сплавів показали, що графік залежності $a = f(c)$ є випукла чи провисаюча крива без максимуму та мінімуму. Ще більші відхилення від закону Вегарда спостерігаються у твердих розчинах із декількома легуючими елементами.

Основна частина. У якості експериментальних зразків використовували сплави на основі заліза із додаванням 0–1,5% В та 0–7% Р. Вміст вуглецю не перевищував 0,018%. Швидкість охолодження зразків складала 10–100 К/с. Згідно експериментальних даних, при легуванні сплаву Fe-0,018% С фосфором (до 0,5% Р) утворюються тверді розчини заміщення, що приводить до зменшення параметра решітки даної фази. Одночасне легування фосфором та бором підвищує розчинність цих елементів у сплаві Fe-0,018% С, про що свідчить більш суттєве зменшення періоду кристалічної решітки твердого розчину на основі фериту (рис. 1). Подальше збільшення цієї характеристики можна пояснити знаходженням атомів вуглецю та бору у міжатомних порах. Однак, вони можуть знаходитись й на позиціях заміщення [5].

Характер впливу фосфору на параметр решітки фериту в сплаві Fe-B подібний до наведеного вище, однак присутність бору збільшує розчинність фосфору в фериті (рис. 2).

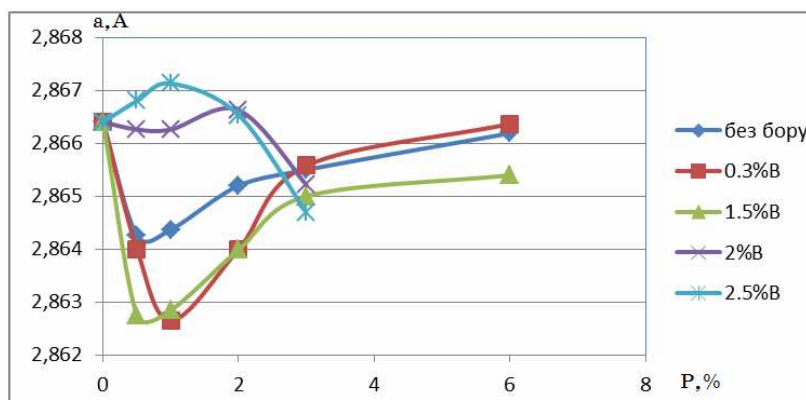


Рисунок 1 – Зміна параметра решітки фериту при легуванні бором сплаву Fe-P-0,018% C

Таким чином, при одночасному легуванні фосфором та бором спостерігається утворення твердих розчинів заміщення-проникнення, причому атоми фосфору заміщують атоми заліза, а атоми бору можуть знаходитися на позиціях і проникнення, і заміщення.

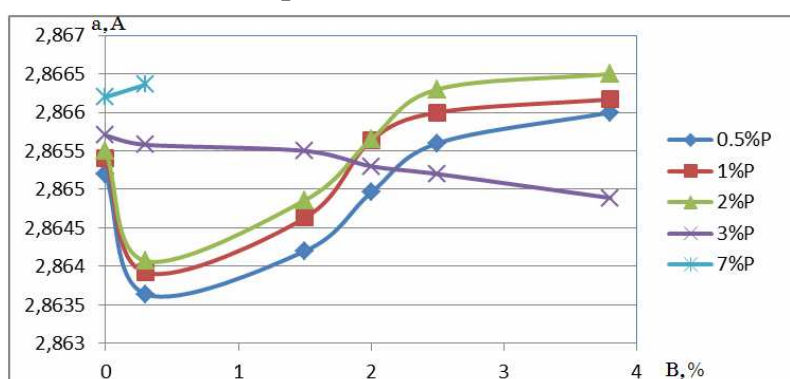


Рисунок 2 – Зміна параметра решітки фериту при легуванні фосфором сплаву Fe-B-0,018% C

У пакеті MATLAB зроблено інтерполяцію вищенаведених даних на площині P-B різними методами. На рис. 3 наведено залежність зміни параметра решітки фериту, побудовану в координатах $a(\text{Å})$ -P(%)-B(%). Серед усіх методів, найкраще наближення до експериментальних даних дає метод лінійної інтерполяції. Враховуючи це, спробуємо зробити комп'ютерне моделювання твердого розчину заміщення-проникнення.

Закон Вегарда (1) з урахуванням перерозподілу сил у системі має вигляд

$$a = a_0 + z \cdot (d_1 - d_0) \cdot s \cdot c, \quad (2)$$

де z – коефіцієнт взаємодії між атомами базової фази та розчиненої речовини; s – коефіцієнт для врахування хімічної спорідненості елементів. У коефіцієнт взаємодії (z) закладається жорсткість міжатомного зв'язку, який визначає доля колективізованих атомів. Коефіцієнт s враховує ефект електронегативної валентності [4] згідно з правилом Юм-Розері.

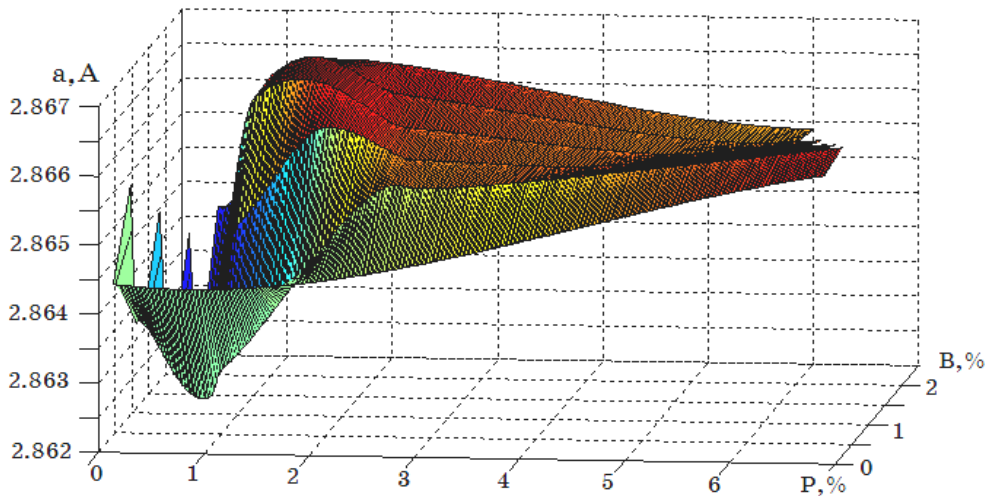


Рисунок 3 – Залежність параметра решітки фериту від вмісту бору та фосфору (лінійна інтерполяція)

Формулу для знаходження періоду решітки твердого розчину проникнення, з врахуванням типу пор проникнення, можна записати у вигляді

$$a = a_0 + [(d_1 - d_{on}) \cdot c_1 + (d_1 - d_{mn}) \cdot c_2] \cdot z \cdot s, \quad (3)$$

де c_1 і c_2 – атомні концентрації розчиненого компонента у порах відповідного типу; d_1 – діаметр атома, що знаходиться на позиції проникнення; d_{on} , d_{mn} – середні діаметри октаедричної та тетраедричної пори, відповідно, які можна виразити через діаметр атомів базової фази. Для ОЦК решітки $r_{on} = 0,2365 \cdot r_0$, $r_{mn} = 0,291 \cdot r_0$. Для ГЦК – $r_{on} = 0,41 \cdot r_0$, $r_{mn} = 0,225 \cdot r_0$ [6]. Враховуючи те, що атоми одного й того самого елемента можуть знаходитись одночасно і на позиціях заміщення, і на позиціях проникнення, формулу для знаходження пе-

ріоду решітки твердого розчину заміщення-проникнення можна записати у вигляді

$$a = a_0 + [(d_1 - d_{on}) \cdot c_1 + (d_1 - d_{mn}) \cdot c_2 + (d_1 - d_0) \cdot c_3] \cdot z \cdot s, \quad (4)$$

де, перші два доданки відносяться до позицій атомів у відповідних порах (проникнення), а третій – до позицій атомів базової фази (заміщення). Тоді концентрація розчиненого компонента матиме вигляд суми відповідних концентрацій $c = c_1 + c_2 + c_3$.

Розрахунки параметра решітки твердого розчину за формулою (4) можна проводити лише для двокомпонентної системи. Але промислові сплави є багатоконпонентними. Для таких сплавів модифікована формула (4) має вигляд

$$a = a_0 + \sum_{i=1}^n \{[(d_{1i} - d_{on}) \cdot c_{1i} + (d_{1i} - d_{mn}) \cdot c_{2i} + (d_{1i} - d_0) \cdot c_{3i}] \cdot z_i \cdot s_i\}, \quad (5)$$

де i – це нумерація відповідного легуючого елементу.

Застосуємо формулу (5) для теоретичного розрахунку параметру решітки твердого розчину на основі заліза. Для утворення необмежених твердих розчинів заміщення необхідно, щоб різниця атомних радіусів компонентів не перевищувала 15% ($0,85 \leq r_A/r_B \leq 1$). Відповідна нерівність для розчинів проникнення має вигляд $r_A/r_B < 0,59$. Тоді у діапазоні $0,59 < r_A/r_B < 0,85$ утворюються обмежені тверді розчини [4].

Якщо розмір атома проникнення перевищує розмір пори, а у даному випадку так воно і є (табл. 1), то він повинен зсувати сусідні атоми. Навколо тетраедричної пори повинні бути зсунуті одразу чотири атоми, що викликатиме значне перекриття електронних хмар. Навколо октаедричної пори зсуватимуться лише два атоми вздовж напрямку $\langle 100 \rangle$. Звідсіля випливає, що для атома проникнення в ОЦК решітці енергетично більш вигідним є розміщення в октаедричній порі. Раніше було доведено, що атоми вуглецю в ОЦК решітці α -Fe розташовуються в октаедричних порах. Чисельні дослідження свідчать, що вуглець при розчиненні віддає свої валентні електрони, та перетворюється у позитивний іон C_{4+} . Однак, є припущення щодо перекриття електронних орбіт заліза і вуглецю [6]. Тому на рис. 4 проілюстровані максимальні значення ковалентного і іонного радіусів елементів.

Атомну концентрацію c_i можна знайти за формулою

$$c_i = \frac{N_i}{N}, \quad (6)$$

де N_i – кількість атомів, що знаходяться на відповідних позиціях проникнення і заміщення; N – загальна кількість атомів у одиниці об'єму.

Таблиця 1

Відомості про елементи моделювання

Елемент	r атома, пм	r_A/r_B	Електро- негатив- ність	Електронна конфігу- рація	Решітка
Fe	126	1	1,83	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$	ОЦК, ГЦК
B	90	0,71	2,04	$1s^2 2s^2 2p^1$	тригональна
C	91	0,72	2,55	$1s^2 2s^2 2p^2$	гексагональ- на/кубічна
P	128	0,98	2,19	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$	ОЦК

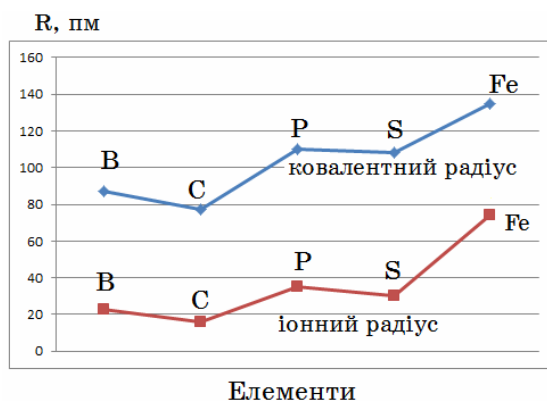


Рисунок 4 – Ковалентний і іонний радіуси елементів

Найбільша складність теоретичних розрахунків полягає у визначенні концентрацій c_1 , c_2 та c_3 тому що потрібно визначати послідовність заміщення та проникнення легуючих атомів у базову фазу.

Жорсткість міжатомного зв'язку (z) характеризує модуль пружності. Відомо, що при легуванні модуль пружності твердого розчину змінюється лінійно і його можна знайти за допомогою лінійної інтерполяції.

Область існування обмежених розчинів звужується тим більше, чим більш електронегативний є один із компонентів і більш електропозитивний – другий (табл.1). Саме ймовірність утворення стійких хімічних сполук враховує коефіцієнт S .

Порівняння експериментальних результатів із теоретичними для серії сплавів Fe-P-0,018%С наведено на рис. 5. Розрахунковий

вміст фосфору не перевищував 2,5%. Окремі точки на рис. 5 – експериментальні дані, а суцільна крива – розрахункові дані. Спостерігається задовільний збіг результатів.

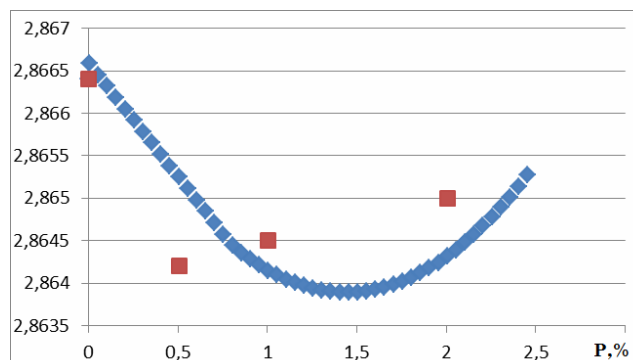


Рисунок 5 – Порівняння експериментально визначеного та теоретично розрахованого параметру решітки твердого розчину на основі заліза

Розрахункові залежності параметру решітки фериту від вмісту легуючих компонентів для серії сплавів Fe-B-0,018%С та Fe-P-B-0,018%С побудовані аналогічним чином. Зі збільшенням розрахункового вмісту бору понад 1,5% та фосфору понад 2,5% (ваг) розбіжність експериментальних даних із розрахунковими збільшується.

Висновки. Наявність бору сприяє підвищенню розчинності фосфору в фериті. Визначено що сумісне легування фосфором та бором приводить до утворення твердих розчинів заміщення-проникнення на основі фериту. В області, багатій фосфором, переважно наявні тверді розчини заміщення, в області, багатій бором – тверді розчини проникнення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений /Б. Н. Арзамасов, И. И. Сидорин, Г. Ф. Косолапов и др. – М.: Машиностроение, 1986. — 384 с.
2. <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/news/9318/doc/65927/>
3. <http://viam.ru/public/files/1997/1997-202441.pdf>
4. Сухова, О.В. Фазові перетворення у сплавах /О.В.Сухова – Д.:РВВ ДНУ, 2009. – 100 с.
5. Спиридонова, И.М. Влияние фосфора и бора на структуру и свойства сплавов на основе железа. / И.М. Спиридонова, Н.В. Карпенко, Л.Н. Гудзенко, В.П. Федаш // Сб. науч. тр. Сер.: Стародубовские чтения 2007. – Строительство, материаловедение, машиностроение, 2007. – Выпуск 41. – ч. 1. – С. 161-165.
6. Калинин Б.А (ред.) Физическое материаловедение. Учебник для вузов в 6 т. Том 6 . Часть 1 . М.: МИФИ, 2008. 672 с.

А.А. Литвинов, Д.Л. Грузин, П.П. Гуреев

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИЙ В МНОГОУРОВНЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация. В работе предлагается идея подхода направленного на упрощающее создание функциональных компонентов, отвечающих за полную реализацию функции. После описания разрабатываемой функции в упрощенной форме, программист получает перечень и порядок работ необходимых для завершения выполнения функции с необходимой инфраструктурой: готовыми и/или полу-готовыми программными компонентами.

Актуальность темы. На текущий момент важной практической задачей разработчиков ПО является быстрое создание и сопровождение качественного многоуровневого программного обеспечения, как правило, представляющего вариант распределенной информационной системы. Сервисная концепция предполагает, что разработанный продукт будет отвечать характеристикам качества, таким как: устойчивость, тестируемость, полезность, доступность, масштабируемость, открытость, гибкость. Это накладывает на процесс разработки дополнительные ограничения/правила: следование шаблонам и стилям; документирование разработки на различных уровнях; покрытие разрабатываемых компонентов, модулей, подсистем различного вида тестами; управление проектами, процессами. Построение современных систем, как правило, требует участия большого кол-ва различных специалистов и хорошо организованного процесса, гарантирующего качество разработки [1]. Важнейшей составляющей такого процесса является анализ и использование опыта предыдущих разработок, включающего аспекты планирования, управления, создания и реализацию технических решений.

В целом процесс разработки информационной системы сводится к трансформации функциональных требований пользователя и исковых атрибутов качества системы в готовое решение: множество

взаимодействующих программных компонентов, работающих в операционном окружении. В основе данной трансформации лежит процесс, включающий множество активностей, полностью или частично формализованных и покрывающих вопросы генерации, выполнения и контроля за выполнением задач. Генерация множества задач диктуется архитектурой системы [2] и базируется на типовых решениях, составляющих технологическую основу уровня зрелости компании. Проверка соответствия системы требованиям базируются на формализованных тестах приемки (user acceptance tests), которые могут быть автоматизированы. Как правило, каждая из задач трансформируется в набор модульных или интеграционных тестов, которые служат для: проверки компонента на предмет выполнения контракта, документирования возможностей компонента.

Первая задача автоматизации построения решений состоит в том, чтобы для поставленной задачи сформировать набор компонентов, включая обязательные составляющие (интерфейсы, тесты, реализацию, исключения). Вторая задача – преобразование функции, как правило уровня *s-requirement*, в набор задач, согласно выбранной архитектуре: в соответствии одной из веток сценария, описанного на языке *L*, используя предыдущий накопленный опыт, формализованный в виде трансформаций «*L-T*», система должна предложить полный или частичный набор компонентов. И в первом и во втором случае важным вопросом является обучение системы проводить такие преобразования, при этом средство должно быть доступным и удобным для разработчика. В данной работе рассматривается вариант решения первой задачи.

Анализ последних публикаций. В работе [3] была представлена интерпретация модельно-ориентированного подхода, упрощающий создание и сопровождение информационной системы, основой которого является модель, описанная с использованием фреймowego подхода представления знаний. На базе описанной модели производится генерация ряда компонентов, что существенно упрощает процесс разработки многоуровневых приложений, а также производится интерпретация модели в ходе работы системы, что исключает необходимость построения и тестирования дополнительных классов. В работе [4] рассмотрены вопросы формирования функциональных компонентов, в

основе которой лежит использование шаблонов, обеспечивающих генерацию полноценных функциональных компонентов.

Постановка задачи. В данной работе предлагается вариант автоматизации трансформации функции в набор компонентов, отвечающих за ее реализацию.

Основная часть. Реализация функции базируется на выделении задач, множество которых диктуется архитектурой системы (уровнями и типами компонентов-классов, используемых в рамках данных уровней). Компонент представляет собой следующий набор: контракт, реализация, модульные тесты, при этом контракт включает три составляющих: интерфейс, исключения, домен, амодульные тесты направлены на тестирование контракта. Важной особенностью, является то, что компоненты распределены по классам, составляющим шаблоны решения задач уровня разработчика (Helper, Manager, Strategy, Validator, Sender, Receiver, Processor и т.п.).

Неотъемлемой частью всех подходов, направленных на совершенствование качества процесса разработки, является выделение и анализ лучших практик после завершения стадии или реализации продукта, с целью выделения стандартов решения задач, составляющих базу типовых решений. Создание такой базы, не только повышает уровень повторного использования компонентов, повышает скорость разработки, но и создает основу для автоматизации, что переводит процесс разработки на новый качественный уровень.

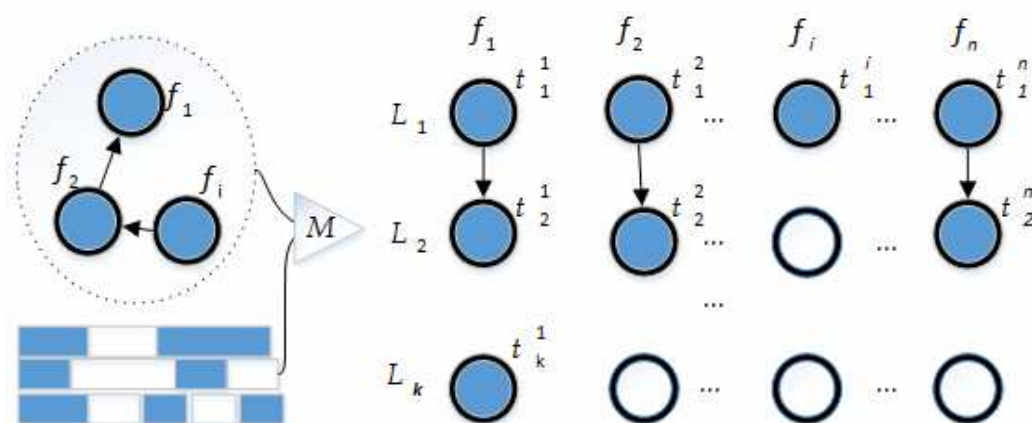


Рисунок 1 - Отображение функций компонентом: f - функция,
 M – механизм отображения функций в решение, t – задачи,
 L – уровень системы

Предлагаемая идея базируется на стандартизации (типизации) функций по критериям их связи с уровнями системы: определении наборов типовых задач, связанных с реализацией функции и формировании множества шаблонов. Такой шаблон можно определить, как средство описания отображения исходного (доменно-ориентированного) описания, заданного с использованием языка, включающего в себя целевой и множество семантических маркеров, описывающих преобразование, в группу конструкций близких к исполняемой форме (файлов, классов, проектов, скриптов создания и изменения структуры базы данных). Детали применения шаблонов описаны в работах [4].

$$m_j : f_i \rightarrow \tau_i, \quad \tau_i \subseteq T \subseteq F \times L, \quad f_i \in F, \quad m_j \in M, \quad (1)$$

$$t_i \in F \times L, \quad f_j \in F. \quad (2)$$

Следует отметить, что центральную роль в этом процессе играют структуры данных: хранимые сущности, доменные объекты, различного рода представления, например, DTO-объекты. Большинство функций связано с одним или несколькими доменными объектами, которые составляют основу для структур другого рода.

Формирование конфигурации, описывающей решение, базируется на задании набора уровней, задействованных в реализации функции и роли компонентов в рамках данных уровней. Компоненты могут быть как новые, так и уже существующие и требующие внесения изменений. Важной составляющей здесь является не только генерация инфраструктуры (компонентов, интерфейсов, тестов), но и планирование работ, необходимых для реализации функции.

Действия разработчика представляется следующим образом: задание доменных объектов, выбор типа функции с указанием минимума конфигурационной информации (включение или исключение необходимых компонентов, используемых уровней либо просто указание набора уровней), запуск трансформации. В результате получается набор компонентов, разной степени полноты завершенности, отвечающих за решение задач, выполнение которых диктуется выбранной функцией.

Рассмотрим на примере простейшую задачу получения списка пользователей для серверной части системы, состоящей из слоев рисунка 2. Скрипт, описывающий задание имеет вид:

F:GetUserCollection D:UserBase DTO:UserInfo SL:[h.Main, controller.UserInfo, bl.User, da.User] Out:collectionIn:void

На базе данного скрипта, с использованием уже готовых шаблонов будут созданы необходимые методы в заданных классах (табл. 1), с соответствующей логикой тестирования логики. После получения такой поддержки, разработчику остается довести полученную инфраструктуру до рабочего состояния, при этом нет необходимости что-либо вспоминать или отвлекаться, что снижает сложность выполняемых задач. Для более сложных задач кроме кода генерируются пошаговые рекомендации по выполнению работ.

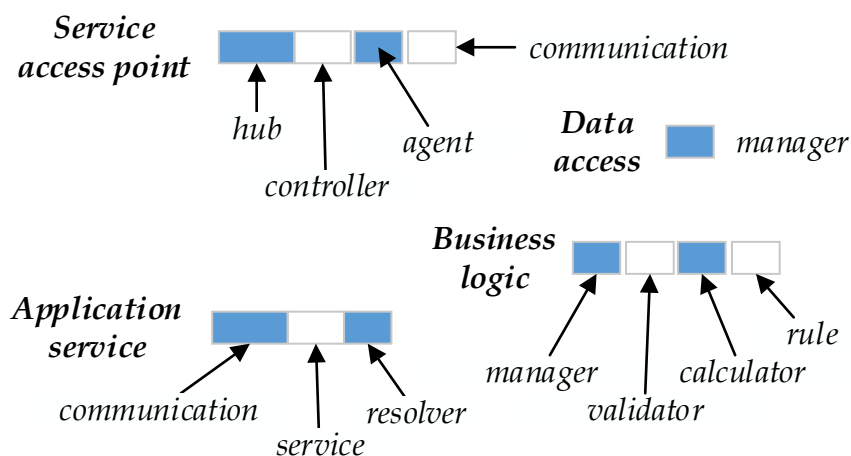


Рисунок 2 - Структура основных уровней серверного приложения

Таблица 1

Порожденные методы

Структура	Метод
MainHub	Task<List<UserInfo>>GetUserCollection()
UserInfoController	List<UserInfo>GetUserInfoCollection()
UserManager	List<UserBase>GetUserCollection()
UserDalManager	List<UserBase>GetCollection()
UserTransformer	UserInfoTransform(UserBaseuser)

Вывод. Предложенный подход упрощает планирование и реализацию функций в системах с многоуровневой архитектурой. Подход базируется на решениях, представленных в работах [3, 4]. После описания разрабатываемой функции, путем задания структур данных и уровней участвующих в ее реализации, с указанием дополнительных аспектов, связанных с компонентами в рамках данных уровней, программист получает перечень и порядок работ, необходимых для завершения выполнения функции (возможна также оценка времени и

усилий для ее успешного завершения) с необходимой инфраструктурой: готовыми и/или полу-готовыми программными компонентами. Это создает основу разработки, уменьшает количество ошибок, помогает планированию завершения задач при построении сложных многоуровневых системах. Предложенный подход наиболее эффективен в случае предварительного детального проектирования компонентов, наполненности базы решений-шаблонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mary Beth Chrissis. CMMI® for Development Guidelines for Process Integration and Product Improvement, Addison-Wesley Professional; 3 edition. – 688 p.
2. ANSI/IEEE 1471-2000, “Recommended Practice for Architecture Description of SoftwareIntensive Systems.”
3. Литвинов О.А. Оптимизация процесса разработки многоуровневых программных компонентов /Литвинов О.А., Грузин Д.Л., Вякилов А.С.// Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. –2014. – Выпуск 1(90). – С. 29-35.
4. Литвинов О.А. Особливості автоматизації процесу розробки функціональних компонентів інформаційної системи / Литвинов О.А., Грузин Д.Л. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. –2015.– Випуск 1(96). –С. 78-86.

А.А. Литвинов, А.Д. Мизюмская

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ОТДЕЛЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Аннотация. В данной статье рассматривается методооценки оптимальности распределения ресурсов отделения хирургического профиля, который учитывает приоритеты того или иного параметра и ряд дополнительных характеристик, например: риск отклонения от нормы, затраты материальных ресурсов и пр.

Ключевые слова: стандарты, планирование, расписание, информационная система, хирургическое отделение, алгоритм.

Введение. Процесс планирования в клинической практике определяется набором ограничений и предпочтений [1], высоким уровнем сложности планирования из-за: неопределенности связи между предложенными возможностями и действительными потребностями, невозможности предопределить поток работ связанный с лечением пациента. Существующие методы полуавтоматического планирования операций [2] не учитывают планирование коечного фонда и ограничиваются лишь планированием хирургических вмешательств. В работе [3] рассмотрен вариант динамического распределения ресурсов. В работе [4] рассмотрен алгоритм эффективного распределения ресурсов отделения.

Постановка задачи. В работе [4] критерием выбора распределения ресурсов является соотношение количества койко-дней и количества операционных часов, что, во-первых, не учитывает приоритеты того или иного параметра, во-вторых, не учитывает ряд дополнительных характеристик, например: риск отклонения от нормы, затраты материальных ресурсов и пр. Устранение этого недостатка позволит существенно усовершенствовать гибкость и эффективность системы распределения.

Основная часть. Принятие решений в области управления ресурсами базируется на множестве, зачастую противоречащих один

другому, критериев. Одним из методов, успешно применяющихся для таких целей, является метод анализа иерархий[5, 6] (далее МАИ), который позволяет упорядочить работу по принятию решения, руководствуясь системой организованных факторов в виде иерархической структуры. В данной работе мы ориентируемся на одноэкспертный анализ, что нивелирует известные недостатки метода.

Для этого на первом шаге строятся матрицы «парных сравнений» для взвешивания критериев. Там где нет возможности использовать объективные показатели, используется шкала относительных величин, например: 1 – равенство альтернатив, 3 – слабый перевес ряда над столбцом, 5 – средний перевес ряда над столбцом, 1/7 – сильное отставание ряда перед столбцом и пр. На втором шаге, в каждой из матриц «парных сравнений» проводится расчет среднего геометрического для каждого ряда и нормализация данных величин к единице, для чего каждое из средних геометрических делится на сумму всех средних геометрических. Полученный вектор содержит приоритеты альтернатив. На третьем шаге проводится проверка согласованности матриц парных сравнений. Несогласованность выражается в нарушении транзитивности отношений (из комбинации $A > B$ и $B > C$, должно выводиться $A > C$). Рекомендации по тому, как определить место несогласованности можно найти в работе[7]. Четвертый шаг: синтез глобальных приоритетов. Состоит в умножении матрицы локальных приоритетов, которые соответствуют решениям, на вектор приоритетов, которые отвечают критериям. Получаем вектор столбец приоритетов, отвечающий решениям. Последний шаг: оценка согласованности всей иерархии.

Предлагаемое решение базируется на принципах МАИ: подходу к ранжированию коэффициентов, методах проверки ранжирования. Входными параметрами являются. Набор описаний услуг, для которых формируется оптимальное расписание, имеет вид (1)

$$\{(nl_i, nh_i, ol_i) | i \leq 7\}, \quad (1)$$

где nl_i и nh_i – число услуг заданного класса (нижняя и верхняя границы соответственно), ol_i – длительность операции. Количество койко-дней определяется индексом услуги. Т.е. для услуги 7-го класса это количество соответствует 7 дням. Структура услуги включает активности (табл. 1): I – поступление и операция, K – пребывание на койке, X – выписка (более подробно см.[3]).

Общая модель обслуживания пациентов

Кол-во услуг/дни недели	1	2	3	4	5	6	7
20	<i>I</i>	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>X</i>			
20				<i>I</i>	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>X</i>

Матрицы «парных сравнений» рисков и цен, ранжированные в соответствии с МАИ. Параметры клиники: длительность операционного дня (определяется числом операционных, в случае двух операционных стандартная продолжительность умножается на два и т.д.), количество коек в отделении.

Коэффициенты, задающие приоритет параметра в функции распределения ресурсов, суммарное значение всех коэффициентов должно равняться единице. В нашем случае это: вес важности дисперсии занятия коек в течение недели, вес числа койко-дней, вес количества проведенных операций, вес времени проведенных операций, вес стоимости проведенных операций, вес эффективности, вес риска.

Функция оптимальности распределения ресурсов имеет следующий вид без учета эффективности

$$F_{opt} = w_{bn} \cdot bn + w_{on} \cdot on + w_{ol} \cdot ol + w_{cw} \cdot cw - w_v \cdot v - w_r \cdot r, \quad (2)$$

с учетом эффективности

$$F^s_{opt} = F_{opt} + \left(F_{opt} / (w_{ol} \cdot ol + w_{bn} \cdot bn) \right) \cdot w_s, \quad (3)$$

где bn – количество койко-дней; on – число операций в течение недели; ol – длительность операций в течение недели; cw – стоимость операций; v – дисперсия распределения занятости операционной; r – риск превышения длительности операции; $w_{_}$ – определяет соответствующий коэффициент. Например, w_{bn} – вес параметра bn .

Суть предлагаемого метода поиска оптимального распределения ресурсов состоит в следующем. На базе конфигурационной информации о минимальном/максимальном числе обслуживаемых пациентов (в рамке недели) по каждому из классов операций проводится формирование задания на распределение ресурсов в рамках недели. Например, для класса операций 1 минимальное число обслуживаемых пациентов за неделю соответствует 12, максимальное число – 50. После чего с помощью алгоритма, описанного в работе [4], проводится распределение ресурсов (коек, операционного времени) и оценка дан-

ного распределения с использованием описанной выше функции. В случае тенденции увеличения значения функции по сравнению с предыдущими результатами, в рамках заданных ограничений, проводится формирование нового задания на распределение, путем изменения тех параметров, которые вызвали это увеличение и т.д. Если значение ниже предыдущего – проводится «отступление» на последний успешный вариант и поиск новых путей улучшения значения функции за счет более точного изменения параметров конфигурации. Детали метода выбора следующего задания является темой отдельной работы. Сам алгоритм распределения состоит из следующих 4 этапов.

1. Определяется порядок распределения типов услуг, величина пакета для каждого типа, порядок распределения услуг в рамках недели. В случае динамического распределения данные характеристики определяются по идеальной модели распределения созданной на основе распределения уже существующих услуг (последнего года, двух лет), характерного для данного промежутка времени (месяца, сезона).

2. По выбранному порядку последовательно выполняется распределение существующих заявок. Входными параметрами при этом являются: класс услуги, список услуг данного типа, величина «пакета». Термин «пакет» введен по аналогии с «пакетом заданий». Фактически означает группу пациентов госпитализированных в один и тот же день.

3. Следуя порядку распределение услуг в рамках недели, производится попытка распределения услуг для каждого типа, учитывая ограничения уже распределенные ресурсы. Если заданные правила не позволяют осуществить распределение – берется предыдущий/последующий день и осуществляется повторная попытка.

4. При невозможности распределения заявок/заявки в рамках указанной недели – заявка переходит в набор задач следующей итерации генерации распределения на период времени кратный неделе.

Рассмотрим пример работы описанного алгоритма на входных параметрах, заданных в табл. 2, и параметров и их приоритетов, заданных в табл. 3 (следует отметить, что матрицы «парных сравнений» опущены).

Таблица 2

Входные параметры

Класс операции	1	2	3	4	5	6	7
Нижняя граница	12	12	12	12	4	0	0
Верхняя граница	50	50	60	60	8	4	4
Длительность	0.4	0.5	1.1	1.1	1.5	2.7	2.8

Таблица 3

Входные параметры

Параметр	Значение	Описание
operationLengthRange:	16.0	Длительность операционного дня
bedNumber:	20	Количество коек в отделении
bedNumberWeight:	0.5	Вес, определяющий приоритет коек
operationWeight:	0.0	Количество операций
operationLengthWeight:	0.5	Длительности операционного дня
operationWeightWeight:	0.0	Цены операции
efficiencyWeight:	0.0	Эффективности (кол-во операций/затраты)
riskWeight:	0.0	Риск операций

Путем изменения основных (количества коек и рабочих часов операционной) и вспомогательных параметров и коэффициентов, эксперт. В табл. 4 приведены результаты поиска оптимальной загрузки клиники при изменении параметра «количество коек в отделении». Таким образом, мы видим, что для 16 часового операционного дня наиболее приемлемым вариантом является наличие 28 коек, при котором операционная занята на 73.5 из 90 возможных. При дальнейшем увеличении количества коек мы получаем незначительный рост загрузки операционной, который на точке 45 коек останавливается.

Сравнительный анализ результатов

Кол-во койко-дней: 120 (20 коек, 16-ти часовый операционный день)								
Класс	Пнд	Вт	Ср	Чт	Птн	Сб	Вск	
1	10 / 4	2 / 0.8						12 / 4.8
2		8 / 4	4 / 2	4 / 2	4 / 2	4 / 2		24 / 12
3	4 / 4.4		6 / 6.6		6 / 6.6			16 / 17.8
4	6 / 6.6			6 / 6.6				12 / 13.2
5			4 / 6					4 / 6
	20 / 15	10 / 4.8	14 / 14.6	10 / 8.6	10 / 8.6	4 / 2		68 / 53.6
Кол-во койко-дней: 150-(25 коек, 16-ти часовый операционный день)								
	25 / 15	19 / 4.8	19 / 14.6	17 / 8.6	15 / 8.6	6 / 2		101 / 67.5
Кол-во койко-дней: 164-(28 коек, 16-ти часовый операционный день)								
	25 / 15.9	20 / 9	21 / 15.9	21 / 14.3	17 / 14.5	7 / 3.5		111 / 73.5
Кол-во койко-дней: 172 – (30 коек, 16-ти часовый операционный день)								
	25 / 15.9	20 / 9	23 / 16	24 / 15.5	19 / 15.5	9 / 4.5		120 / 76.4
Кол-во койко-дней: 183 – (35 коек, 16-ти часовый операционный день)								
	17 / 15.8	22 / 14.4	21 / 15.9	24 / 14.8	21 / 15.7	12 / 5.8		117 / 82.4
Кол-во койко-дней: 189 – (38 коек, 16-ти часовый операционный день)								
	17 / 15.8	22 / 14.4	19 / 15.8	26 / 15.6	23 / 15.8	16 / 7.4		123 / 84.8
Кол-во койко-дней: 192 – (40 коек, 16-ти часовый операционный день)								
	16 / 15.8	22 / 14.4	16 / 16	26 / 15.6	25 / 15.9	18 / 8.2		123 / 85.9
Кол-во койко-дней: 194 – (42 коек, 16-ти часовый операционный день)								
	16 / 15.8	22 / 14.4	16 / 16	26 / 15.6	25 / 15.9	20 / 9		125 / 86.7
Кол-во койко-дней: 196 – (45 коек, 16-ти часовый операционный день)								
	12 / 16	22 / 14.4	13 / 16	25 / 15.9	25 / 15.9	20 / 9		117 / 87.2

Действуя подобным образом, регулируя параметры, эксперт добивается получения искомой модели распределения ресурсов, удовлетворяющей заданным условиям, включая приоритеты и ограничения.

Вывод. В данной работе описан метод поиска оптимального распределения ресурсов отделения хирургического профиля, который учитывает множество параметров с заданными приоритетами. Метод направлен на автоматический перебор множества вариантов их оценку с помощью функции на основании ее значения и выбор наилучшего. Может быть с успехом применен для моделирования структуры хирургического отделения, планирования и оценки работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзяк Г.В., Березницкий Я.С., Филиппов Ю.А. и др. Библиотека практического врача. Унифицированные клинико-статистические классификации болезней органов пищеварения (ведомственная инструкция). – Киев, 2004. – 93 с.
2. Mary Beth Chrissis. CMMI for Development Guidelines for Process Integration and Product Improvement, Addison-Wesley Professional; 3 edition (2011). – 688 p.
3. Литвинов А.А., Павленко М.В. Алгоритм эффективного распределения ресурсов отделения хирургического профиля. Системные технологии. Регион. меж вуз. сборник научных работ. – 2012. – Вып. 1(78). – С.89-99.
4. А.А Литвинов., Г.В. Полухин, В.В. Истомина. Оценка и обнаружение стандартов клиники хирургического профиля. Системные технологии. Регион. меж вуз. сборник научных работ. – 2014. – Вып. 1(90) – С.48-53.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. /М.: "Радио и связь". – 1993. – 320 с.
6. Thomas L. Saaty. Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World, New Edition 2001 (Analytic Hierarchy Process Series, Vol. 2). RWS Publications; 3rd Revised edition (Sept. 3, 2012). – 323 p.
7. Митягин М.В., Плаксин М.А. Некоторые усовершенствования метода анализа иерархий // Математика программных систем: Межвуз. сб. науч. тр. / Перм. ун-т, Пермь, 2001. С. 56-66.

Н.А. Матвеева, В.В. Герасимов, Д.О. Игнатьева

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МОДУЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ JAVA

Аннотация. Проведено исследование основных технологий модульного тестирования, выявлены их функциональные особенности, достоинства и недостатки. Сделаны выводы касательно мест их применения.

Ключевые слова: модульное тестирование, тест, модуль, JUnit, TestNG, TestFX, Mockito, Hamcrest, FestAssertions.

Вступление. Каждая сложная программная система состоит из отдельных частей — модулей, выполняющих ту или иную функцию в составе системы. Для того, чтобы удостовериться в корректной работе системы в целом, необходимо вначале протестировать каждый модуль системы в отдельности. В случае возникновения проблем это позволит заранее выявить модули, вызвавшие проблему, и устранить соответствующие дефекты в них. Именно поэтому все большую популярность приобретает модульное тестирование.

Основная цель модульного тестирования — удостовериться в соответствии требованиям каждого отдельного модуля системы перед тем, как будет произведена его интеграция в состав системы. При этом в ходе модульного тестирования решаются четыре основные задачи: поиск и документирование несоответствий требованиям, поддержка разработки и рефакторинга низкоуровневой архитектуры системы и межмодульного взаимодействия, поддержка рефакторинга модулей и поддержка устранения дефектов и отладки [1].

Целью работы является рассмотрение наиболее популярных технологий модульного тестирования программного обеспечения на платформе Java, таких как JUnit, TestNG, TestFX, Mockito, FestAssertion, их сравнение по эффективности использования в различных сферах разработки программного обеспечения.

Основная часть. Первая технология, JUnit [2] — библиотека для модульного тестирования программного обеспечения. В основном

используется для модульного тестирования Java-проектов. JUnit была портирована на другие языки, включая PHP (PHPUnit), C# (NUnit), Python (PyUnit), Fortran (fUnit), Delphi (DUnit), FreePascal (FPCUnit), Perl (Test:Unit), C++ (CPPUnit), Flex (FlexUnit), JavaScript (JSUnit), COBOL (COSUnit). Опыт, полученный при работе с JUnit, важен в разработке концепций тестирования программного обеспечения.

JUnit имеет следующие преимущества: является полноценной тестовой средой, не требует контроля со стороны пользователя во время исполнения, дает возможность запускать несколько тестов одновременно и выводить сообщения обо всех ошибках в ходе тестирования.

JUnit применяется для модульного тестирования, которое позволяет проверять на правильность отдельные модули исходного кода программы. Преимущество данного подхода заключается в изолировании отдельно взятого модуля от других. Тестовые классы JUnit 4 можно исполнять как с помощью интегрированной среды разработки, например, Eclipse, так и с помощью интерфейса командной строки. Благодаря использованию аннотаций в JUnit 4 используется гибкая фикстурная модель (fixturemodel). Аннотации позволяют исполнять одну и ту же фикстуру для каждого теста или один раз для всего класса, или не исполнять ее совсем.

К недостаткам JUnit можно отнести невозможность моделирования многопоточных ситуаций (запуск нескольких тестов одновременно не позволяет отследить момент их завершения) и резкое увеличение объема конфигурации при увеличении числа классов и возможных вариантов запуска.

Далее рассмотрим технологию TestNG [3]. TestNG — тестовый фреймворк для языка программирования Java наряду с фреймворками для модульного тестирования семейства XUnit [4], но он имеет новую мощную функциональность и более прост в использовании. TestNG — это фреймворк с открытым кодом, где NG в TestNG означает NextGeneration (Новое поколение). TestNG похож на JUnit, но намного функциональнее него.

В TestNG тесты описываются с помощью аннотаций, как и в JUnit 4, но здесь их гораздо больше и поддерживаются параметры аннотаций. Также здесь есть новые параметры, например,

dependsOnMethods, в котором записываются методы, от которых зависит тест, помеченный данной аннотацией — сначала будут выполнены они, а затем данный тестовый метод. Важным преимуществом TestNG является поддержка тестирования, управляемого данными с аннотацией для тестов @DataProvider [5], т.е. DataProvider ответствен за предоставление тестовых данных для методов, в которых данные используются. Преимущество заключается в том, что данные хранятся отдельно от тестов. В TestNG поддерживается многопоточность. Если необходимо проверить, как поведет себя приложение во многопоточном окружении, можно сделать так, чтобы тесты выполнялись одновременно из нескольких потоков. Также в TestNG расширение функционала может быть реализовано с помощью механизма разных типов слушателей.

TestNG поддерживается множеством инструментов и программных расширений, например, такими как Eclipse, NetBeans, Maven и др. Одной из функций TestNG является мощная модель выполнения — больше нет TestSuite(наборов тестов), в то время как наборы тестов, группы и тесты, отобранные на выполнение, определяются и формируются файлами XML.

Главное преимущество TestNG — это возможность запускать все тесты одним xml-файлом. Автоматизация тестирования стала проще из-за следующих преимуществ TestNG:

- Встроенная система отчётов. То, что раньше приходилось разрабатывать отдельно, идёт готовым формализованным решением.
- Тестовые сценарии создаются в виде xml-файлов, а тестовые данные доставляются отдельно, что значительно упрощает создание тестовых данных.

Далее рассмотрим технологию TestFX [6]. TestFX — это интерфейс программирования приложений для тестирования пользовательских интерфейсов, написанных на JavaFX. Он автоматизирует тесты для приложений JavaFX путем имитации действий пользователя, таких как нажатие кнопок, ввод текста в поле ввода и многие другие операции, которые осуществляются в приложениях JavaFX.

TestFX основан на известном фреймворке для модульного тестирования JUnit. Как и JUnit, TestFX очень простой в освоении и легкий в использовании. В TestFX тесты могут быть написаны аналогично тестам JUnit. Необходимо лишь добавить несколько дополне-

ний. Например, TestFX использует Hamcrest[7]вычислители поверх JUnit для утверждений тестов. Hamcrest вычислители по сравнению со стандартными утверждениями в JUnit имеют преимущество, которое заключается в том, что вы можете использовать натуральные утверждения и получить более полезные сообщения об ошибках, когда утверждение не выполняется. Это повышает качество кода тестов, а также снижает трудоемкость утверждений. Еще одним преимуществом TestFX является то, что он сохраняет в папку проекта точные скриншоты невыполненных тестов. Написание тестов с помощью TestFX не займет много времени.

Следующей рассмотрим технологию Mockito [8]. Mockito является одним из широко используемых интерфейсов тестирования для платформы Java. Mockito позволяет писать хорошие тесты с помощью чистого и простого API. Mockito-тесты очень легко читаются и выдают чистые ошибки проверки. Исследование 2013 года, проведенное над 10000 проектами GitHub, показало, что Mockito— 9-я по популярности библиотека Java.

Вообще, мок-объект (или заглушка) [9] — это объект, созданный, чтобы заменить объект, с которым ваш код будет сотрудничать. Ваш код может вызывать методы на мок-объекте, который будет добиваться результатов, заданных с помощью ваших тестов. Мок-объекты отлично подходят для тестирования части кода независимо от остального кода. Они являются пустыми оболочками, которые обеспечивают методы, позволяющие тестам управлять поведением всех бизнес-методов фальшивого класса. Также Mockito существенно упрощает разработку тестов для классов с внешними зависимостями.

Mockito совершенствует технологию создания тестовых сценариев. И речь не только о мок-объектах, но и в целом это очень хороший выбор для разработчиков, способствующий созданию реальных устойчивых тестов, которые обеспечивают стабильность программного обеспечения [10].

Наиболее интересные возможности фреймворка следующие: возможно создание заглушки как для классов, так и для интерфейсов; можно проверять, вызывался ли метод и с какими параметрами; создана концепция "частичной заглушки" — в этом случае заглушка создается на класс и есть возможность задать поведение, требуемое для некоторых методов.

Mockito отслеживает все вызовы методов изначениях параметров для mock-объекта. Для того, чтобы убедиться, что указанные условия соблюдены, т.е. что метод был вызван с определенными параметрами, используют метод `verify()` на mock-объект. Этот вид тестирования иногда называют тестированием поведения, потому что он проверяет не результат вызова метода, а то, что метод вызывается с нужными параметрами. Mockito отличается от других mock-фреймворков, позволяя разработчикам проверить поведение тестируемой системы без установки заранее ожидаемого результата. Одно из слабых мест mock-объектов заключается в том, что существует тесная связь тестового кода и тестируемой системы. Так как Mockito пытается ликвидировать шаблон «ожидаемое-запуск-проверка», удалив спецификацию ожиданий, связь сведена к минимуму. Результатом этой отличительной особенности является более простой тестовый код, который легче читать и модифицировать. Mockito также предоставляет некоторые аннотации, полезные для снижения шаблонности кода.

Объединение трех фреймворков, Mockito, Hamcrest и JUnit, может сделать с «закрытой» системой гораздо больше, чем доступ через открытые интерфейсы. Однако, эта особенность является также и недостатком для системы модульного тестирования (в случае `TestDrivenDesign`). Ведь основная цель модульного тестирования — удостовериться в соответствии требованиям каждого отдельного модуля системы. При изменении требований модули системы меняются, поэтому модульные тесты должны тоже меняться. Если в таком случае тесты не меняются, а меняются только матчеры (объекты, которые содержат логику принятия решения, знают, что ждали и что получили, о чем самостоятельно сообщают), то такие тесты неправильно тестируют измененные модули системы. В конечном итоге такие тесты способствуют созданию плохих интерфейсов между компонентами вашей системы.

И, наконец, Mockito имеет определенные ограничения. Он не может проверить такие конструкции, как финальные классы, анонимные классы и примитивные типы.

Hamcrest — библиотека вычислителей (mathers) для построения тестовых выражений[7]. Hamcrest — это фреймворк, который используется для написания тестов для программного обеспечения на плат-

форме Java. Он поддерживает создание настраиваемых утверждений — матчеров, что позволяет соответствовать правилам, которые будут определены декларативно. Matcher-ы используются в модульном тестировании с помощью JUnit. Типичные сценарии включают в себя фреймворки для тестирования, mock-библиотеки и правила проверки пользовательского интерфейса. Hamcrest была портирована на Java, C++, Objective-C, Python, PHP и Erlang. Hamcrest — библиотека не для тестирования: просто так получилось, что вычислители (matcher-ы) являются очень полезными для тестирования.

Далее рассмотрим технологию FestAssertion [11]. FestAssertion — это Java-библиотека, которая предоставляет свободный интерфейс для написания утверждений (assert-ов). Ее основная цель — улучшить читабельность кода тестов и сделать обслуживание тестов более легким. Для того, чтобы вам было быстрее и удобнее писать утверждения (assertions) она использует так называемый fluentinterface (способ реализации объектно-ориентированного API, нацеленный на повышение читабельности исходного кода программы). Festassertion требует Java SE 6.0 или более поздней версии и может использоваться в JUnit. Fest предоставляет утверждения для следующих типов данных: Object, String, Date, примитивные типы (boolean, int, char и т.д.), BigDecimal, Iterable, массивы Object, массивы примитивных типов, Map, Throwable, FileInputStream, BufferedImage.

Начать использовать библиотеку очень легко — просто пишете `assertThat()` для тестируемого объекта, ставите точку, и любая интегрированная среда разработки Java покажет все доступные утверждения для типа объекта, который подлежит проверке. Нет больше путаницы с порядком «ожидаемых» и «фактических» значений, как и с читабельностью утверждений.

Среди удобств библиотеки можно выделить следующие: всего один `import`, автодополнение методов в IDE, более читаемый код, независимость от тестового фреймворка. Например, `assertEquals()` в JUnit и в TestNG имеет различный порядок аргументов. Если использовать Festassertions, то в случае необходимости вам будет проще перейти на другой тестовый фреймворк[12].

Выводы. Проанализировав все основные инструментарии, можно увидеть, что каждый продукт имеет свои достоинства, недостатки

и сферу использования. JUnit позволяет изолировать отдельные модули исходного кода программы и тестировать их независимо друг от друга, а также достаточно прост в использовании и имеет возможность расширения с помощью специальных правил и параметров запуска. TestNG похож на JUnit, но намного функциональнее него. TestNG позволяет запускать все тесты из одного xml-файла и в нем есть встроенная система отчетов. Гибкость TestNG особенно полезна при наличии больших наборов тестов. TestFX предназначен для тестирования пользовательских интерфейсов, написанных на JavaFX. С помощью TestFX тесты будут написаны и выполнены быстро и при возникновении ошибок при тестировании последние будут сохранены в виде скриншотов. Библиотека Mockito, предназначенная для упрощения процесса создания mock-объектов, существенно упрощает разработку тестов, особенно для классов с внешними зависимостями. Библиотека FestAssertion не обязательна в использовании, но она позволяет легко писать и читать модульные тесты, написанные с помощью JUnit или TestNG.

ЛИТЕРАТУРА

1. Академия Microsoft: Верификация программного обеспечения. Модульное тестирование — Режим доступа:
<http://www.intuit.ru/studies/courses/1040/209/lecture/5394>
2. Тестирование в Java. JUnit — Режим доступа:
<http://habrahabr.ru/post/120101/>
3. TestNG — Режим доступа: <http://testng.org/doc/>
4. XUnit — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/XUnit>
5. Тестирование в Java. TestNG — Режим доступа:
<https://habrahabr.ru/post/121234/>
6. Bennet Schulz. Test JavaFX Apps with TestFX // Java magazine — 2015. — September/October 2015. — P. 20-25
7. Hamcrest — Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hamcrest>
8. Unit tests with Mockito – Tutorial — Режим доступа:
<http://www.vogella.com/tutorials/Mockito/article.html>
9. Vincent Massol, Ted Husted. JUnit in Action — USA: Manning — 2009. — 386 с.
10. JUnitMockito Example — Режим доступа:
<http://examples.javacodegeeks.com/core-java/mockito/junit-mockito-example/>
11. Fest Assertions 2.0 documentation — Режим доступа:
<https://github.com/alexruiz/fest-assert-2.x/wiki>
12. Заметки о программировании. FestAssertion — Режим доступа:
<http://slava-semushin.blogspot.co.uk/2011/09/fest-assertions.html>

Н.О. Матвеева, Ю.В. Лазоренко

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ОПТИМІЗАЦІЇ НАВЧАННЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ СИГНАЛІВ

Анотація. Представлені результати дослідження алгоритмів зворотного розповсюдження помилки для навчання нейронних мереж, які виконують класифікацію сигналіву дефектоскопії. Моделювання багатошарового персептрона виконувалось в середовищі MATLAB.

Ключові слова: композитні матеріали, нейронні мережі, багатошаровий персептрон, алгоритми оптимізації навчання.

Вступ. Проблема класифікації є однією з найбільш часто виникаючих і розв'язуваних задач як при наукових дослідженнях, так і на практиці. Використання для цього нейронних мереж напряму пов'язане з вирішенням задачі їх навчання. Модель навчання нейронних мереж на основі корегування помилок є однією з основних [1,2].

При проведенні неруйнівного контролю композитних матеріалів слід враховувати їх складний рельєф поверхні. Технологія виготовлення волокнистих композитів, звичайно, не передбачає механічну обробку, що ускладнює процес сканування поверхні та додає різні види шумів. Виникає задача – аналізуючи оброблювані сигнали, необхідно отримати інформацію щодо наявності та розмірів дефектів. Для розв'язання таких задач використовуються нейронні мережі [1, 2], які активно розвиваються останнім часом, володіють універсальними та адаптивними властивостями й забезпечують високу ефективність розпізнавання.

Метою роботи є знаходження оптимального алгоритму навчання багатошарового персептрона при розв'язанні задачі класифікації сигналів дефектоскопії.

Основна частина. Кожна штучна нейронна мережа являє собою множину простих елементів – нейронів, які сполучені певним чином. Конкретний вигляд виконуваної мережею перетворення даних обу-

мовлюється не тільки характеристиками нейронів, які входять до її структури, але і особливостями її архітектури, а самотопологією між-нейронних зв'язків, напрямом і способами передачі інформації між нейронами, а також засобами навчання мережі.

При проведенні аналізу вхідних і вихідних даних значення ваги та зсуву нейронної мережі автоматично налагоджуються так, щоб мінімізувати різницю між бажаним сигналом та отримуваним на виході в результаті моделювання. Ця різниця називається помилкою навчання і для конкретної конфігурації нейронної мережі визначається шляхом пропускання через мережу всіх спостережень, які мають, та порівняння вихідних значень з бажаним, цільовим значенням. Тобто формується функція помилки (критерій якості навчання)..

Багатошарові нейронні мережі прямого розповсюдження являють собою нелінійні системи, які дозволяють краще кваліфікувати ніж звичайні статистичні методи. Багатошаровий персептрон (multilayerperceptron - MLP) складається з множини вхідних вузлів, які створюють вхідний шар, один або декілька скритих шарів й одного вихідного шару. При навчанні MLP використовується алгоритм зворотного розповсюдження помилки (back-propagationlearning) [3]. Кожний нейрон MLP, який навчається на основі зворотного розповсюдження має нелінійну гладку функцію активації, в якості якої часто використовують нелінійну сигмоїдальну функцію активації типу логістичної або гіперболічного тангенса

Алгоритми зворотного розповсюдження помилки аналогічні методам знаходження екстремуму функції декількох змінних і поділяються на три групи – нульового, першого та другого порядку [3, 4]. В алгоритмах нульового порядку для знаходження екстремуму використовується тільки інформація о значеннях функції у заданих точках.

Алгоритми оптимізації навчання є стратегіями, заснованими на реалізації ідеї ітеративного спуску, які забезпечують мінімізацію функціонала навчання. У процесі роботи алгоритмів, як правило, виникає задача одновимірного пошуку мінімуму уздовж заданого напрямку. Це можуть бути антиградієнти або сполучені напрямки [4].

Градієнтні алгоритми навчання є специфічною реалізацією градієнтного спуску в просторі вагових коефіцієнтів і зміщень MLP і за-

безпечують рух по поверхні функціоналу помилки в напрямку, протилежному вектору градієнта:

$$x_{k+1} = x_k - \alpha_k g_k, \quad (1)$$

де x_k – вектор вагових коефіцієнтів; α_k – параметр швидкості навчання; g_k – вектор градієнта функціонала похибки.

Метод сполучених градієнтів дозволяє визначити необхідний мінімум набагато швидше. Всі алгоритми цього методу на першій ітерації починають пошук у напрямку антиградієнту:

$$p_0 = -g_0. \quad (2)$$

Для визначення розміру кроку уздовж сполученого напрямку виконуються спеціальні одномірні процедури пошуку мінімуму. Коли вибрано напрямок спуску, потрібно визначити оптимальну відстань (крок пошуку), на величину якого слід змінити настроюванні параметри:

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k p_k. \quad (3)$$

Потім визначається наступний напрямок пошуку як лінійна комбінація нового напрямку найшвидшого спуску і вектора руху:

$$p_k = -g_k + \beta_k p_{k-1}. \quad (4)$$

Різні алгоритми методу сполученого градієнта розрізняються способом обчислення константи β_k . Для всіх алгоритмів методу сполучених градієнтів напрямок пошуку періодично перевстановлюється заново на напрямок антиградієнту (рестарт). Це відбувається, коли виникають проблеми зі збіжністю. Це коштує в обчислювальному відношенні процедура.

Методи другого порядку вимагають знання других похідних функціоналу помилки. К цим методам відноситься метод Ньютона. Основний крок метода Ньютона знаходиться по формулі:

$$x_{k+1} = x_k - H_k^{-1} g_k, \quad (5)$$

де x_k – вектор значень параметрів на k -ї ітерації; H – матриця других часткових похідних цільової функції, або матриця Гессе; g_k – вектор градієнта на k -ї ітерації. Метод Ньютона в багатьох випадках сходиться скоріше, ніж методи сполученого градієнта, але потребують великих затрат через обчислення гессіана. Для того, щоб уникнути обчислення матриці Гессен, пропонуються різні засоби її заміщення приблизними виразами, це породжує так звані квазіньютоніві алгоритми

(наприклад, алгоритм метода січних плоскостей або алгоритм Левенберга-Марквардта) [3, 4].

Навчання нейронної мережі припиняється при виконанні однієї з умов: значення функції якості навчання стало менше граничного; градієнт критерію якості став менше; досягнуто граничне число циклів навчання; перевищено максимальний час, виділений на навчання.

Експериментальні дослідження. При проведенні сканування композитних матеріалів за допомогою вихорострумового перетворювача отримуються триформи сигналів унімодальний, пологий унімодальний та бімодальний. Унімодальний сигнал з максимальною амплітудою характеризує дефекти, які перевищують зону контролю, а бімодальні з найбільшим провалом вершини належать точковим дефектам.

Для моделювання використовувалось обчислювальне середовище MATLAB R2010b. У якості навчальної множини для нейронної мережі запропоновані значення функцій, які відповідають модельним сигналам, одержаним при скануванні поверхні композитів [5], у точках $x = -2, -1.9, \dots, 2$:

$$y(x) = \exp(-1.5x^2) - k \cdot \exp(-3x^2), \quad (6)$$

де k змінюється від 0 до 1: при $k = 0-0.35$ одержуємо вузький унімодальний сигнал, котрий характерний для довгої тріщини, довжина якої перебільшує зону контролю. При зміні $k = 0.35-0.55$ одержуємо пологісний унімодальний сигнал, характерний для тріщин меншої розмірності. Беручи $k = 0.6-1$ дістаємо бімодальний сигнал, який мають маленькі тріщини (при $k = 1$ – точковий дефект).

Для вирішення поставленого завдання використовувався багаточаровий пересептрон з 21 нейронів у вхідному шарі (за кількістю компонентів вхідного вектора), 10 нейронів у схритому шарі та 3 нейрони у вихідному шарі (за кількістю компонентів вихідного вектора, тобто маємо три форми сигналу).

Для створення нейронної мережі прямого поширення застосовували функцію *feedforwardnet* (*hiddenSizes*, *trainFcn*), де *hiddenSizes* – вектор-рядок з одного або декількох розмірів прихованого шару; *trainFcn* – функція навчання.

Спочатку дослідження проводились з алгоритмами навчання першого та другого порядку [3, 4] на ідеальних сигналах без шуму (13 варіантів). На схритому та вихідному шарах застосовували в якос-

ті функцій активації лінійну функцію (*purelin*), гіперболічну тангенціальну функцію (*tansig*) та логістичну сигмоїдальну функцію (*logsig*) в різних комбінаціях[6].

Кращі результати показали такі алгоритми навчання методу сполучених градієнтів: *traincgf*, *traincgp*, *traincgb*, *trainscg*; та квазі-ньютонівські алгоритми з функціями: *trainlm* та *trainbr*. В якості функцій активації застосовувались лінійна функція активації (*purelin*), гіперболічна тангенціальна функція (*tansig*) та логістична сигмоїдальна функція (*logsig*).

Для перевірки якості навчання проведено два експериментальних дослідження. У першому випадку навчання проводилось на сигналах без шуму, а тестування мережі – на зашумлених сигналах. Для другого дослідження навчання й тестування нейронних мереж відбувалось на зашумлених сигналах. Для моделювання зашумлення сигналів використовувався адитивний білий гауссів шум, який описується функцією *awgn(x, snr, 'measured')*, де *x* - вектор сигналу, скаляр *snr* задає відношення сигнал/шум в децибелах

$$snr(dB) = 20 \log \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right), \quad (7)$$

де *A* – середньоквадратичне значення амплітуди.

При проведенні досліджень *snr* приймало значення 100, 50 і 30 децибел. Після проведення досліджень результати заносились у матрицю результатів. Оскільки нейронна мережа з тими самими функціями навчання та активації нейронів не дає однаковий результат, якщо навчати її заново, то використовувалась середня похибка від результатів.

Дослідження для кожного алгоритму навчання та різних комбінацій функцій активації проводились 50 разів та підраховувалось середнє значення похибки при класифікації сигналів.

В таблицях 1-3 наведені середні помилки, отримані в процесі навчання нейронних мереж на ідеальних сигналах, а тестуванні – на сигналах з шумом.

Таблиця 1

Середні помилки при відношенні сигнал/шум $snr = 100\text{Дб}$

Функ. тренування	trainlm	traincgb	trainscg	trainbr	traincgf	traincgp
Функ. активації						
'logsig', 'purelin'	0,021837	0,078571	0,075158	0,000227	0,046513	0,059822
'tansig', 'purelin'	0,02526	0,058195	0,072254	0,000543	0,073337	0,055787
'logsig', 'tansig'	0,020564	0,117692	0,142242	0,004949	0,176836	0,094574
'tansig', 'tansig'	0,072658	0,154414	0,107719	0,038328	0,148797	0,135683

Таблиця 2

Середні помилки при відношенні сигнал/шум $snr = 50\text{Дб}$

Функ. тренування	trainlm	traincgb	trainscg	trainbr	traincgf	traincgp
Функ. активації						
'logsig', 'purelin'	0,024717	0,041007	0,055923	0,001867	0,041415	0,074117
'tansig', 'purelin'	0,026983	0,131753	0,083315	0,002014	0,046484	0,038735
'logsig', 'tansig'	0,025729	0,151271	0,102915	0,004575	0,223883	0,136044
'tansig', 'tansig'	0,048479	0,131611	0,136155	0,037427	0,059263	0,110237

Таблиця 3

Середні помилки при відношенні сигнал/шум $snr = 30\text{Дб}$

Функ. тренування	trainlm	traincgb	trainscg	trainbr	Traincgf	traincgp
Функ. активації						
'logsig', 'purelin'	0,027305	0,08119	0,04343	0,016679	0,045204	0,065496
'tansig', 'purelin'	0,035913	0,068405	0,148655	0,01662	0,077969	0,051315
'logsig', 'tansig'	0,043969	0,150888	0,184603	0,018301	0,163004	0,106515
'tansig', 'tansig'	0,084189	0,091729	0,130583	0,112113	0,148148	0,167698

Кращі результати показує нейронна мережа з функцією тренування trainbr та з функціями активації 'logsig', 'purelin' або 'tansig', 'purelin'.

Результати другого дослідження (навчання та тестування проводилось на зашумлених сигналах) наведені в таблицях 4-6.

Кращі результати показує знов нейронна мережа з функцією тренування trainbr та з функціями активації 'logsig', 'purelin' й 'tansig', 'purelin'.

Таблиця 4

Середні помилки при відношенні сигнал/шум $snr = 100$ Дб

Функ. тренування	trainlm	traincgb	trainscg	trainbr	Traincgf	traincgp
Функ. активації						
'logsig', 'purelin'	0,051722	0,082656	0,049814	0,000241	0,052541	0,037667
'tansig', 'purelin'	0,025354	0,121009	0,076401	0,000325	0,06339	0,042976
'logsig', 'tansig'	0,023918	0,094399	0,100799	0,003348	0,180841	0,167962
'tansig', 'tansig'	0,04066	0,198937	0,13036	0,00388	0,140132	0,051592

Таблиця 5

Середні помилки при відношенні сигнал/шум $snr = 50$ Дб

Ф-я тренування	trainlm	traincgb	trainscg	trainbr	Traincgf	traincgp
Ф-ії активації						
'logsig', 'purelin'	0,02032	0,03698	0,034756	0,001268	0,06526	0,057423
'tansig', 'purelin'	0,04931	0,188069	0,078399	0,001346	0,066582	0,094244
'logsig', 'tansig'	0,036197	0,151694	0,14985	0,003933	0,082759	0,106405
'tansig', 'tansig'	0,072793	0,047446	0,175436	0,072777	0,128994	0,118038

Таблиця 6

Середні помилки при відношенні сигнал/шум $snr = 30$ Дб

Ф-я тренування	trainlm	traincgb	trainscg	trainbr	Traincgf	traincgp
Ф-ії активації						
'logsig', 'purelin'	0,023128	0,068147	0,043215	0,013492	0,04199	0,034587
'tansig', 'purelin'	0,036833	0,078169	0,100336	0,014493	0,182083	0,072564
'logsig', 'tansig'	0,017595	0,24615	0,242536	0,043339	0,166891	0,11076
'tansig', 'tansig'	0,072348	0,074369	0,151991	0,043805	0,097286	0,209213

Функція *trainbr* виконує процедуру навчання при умові, що функції зважування, нагромадження та активації мають похідні. Ця функція реалізована на базі алгоритму Левенберга-Марквардта, котрий відноситься до самих ефективних та швидкодіючих. Додаткове використання методу регуляризації за Байєсом дозволяє знаходити оптимальні значення для параметрів, які налагоджуються, і як наслідок, знаходження оптимального розміру мережі. Це дозволяє успішно справитися з проблемою перенавчання. Для цього здійснюється мінімізація комбінованого функціоналу якості навчання, яке враховує не тільки суму квадратів помилок навчання, але і квадрати ваги.

Висновки. Порівняльний аналіз алгоритмів оптимізації навчання нейронних мереж показав, що кращі результати отримуємо при навчанні мереж на сигналах з шумом. Для цього рекомендовано використовувати функцію тренування *trainbr* сумісно з функціями активації нейронів *tansig*, *purelin* або *logsig*, *purelin*.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ./Саймон Хайкин – М.: «Вильямс». 2006.
2. Аксенов С.В. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / С.В. Аксенов, В.Б. Новосельцев – Томск: НТЛ. 2006. – 128 с.
3. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
4. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.
5. Хандецкий В.С. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний / Хандецкий В.С., Герасимов В.В. // Вісник ДНУ: Фізика. Радіоелектроніка. – Дніпропетровськ: – 2003. № 10. – С. 128 – 132.
6. Матвеева Н.А. Моделирование нейросети для решения задачи классификации в дефектоскопии // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. - Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2011. - Вип. 1(72). - С. 37-44.

THE PHASE METHOD FOR MEASUREMENT OF COMPONENTS OF IMPEDANCE EDDY-CURRENT SENSORS IN DEVICES FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING

Annotation. Offered and discussed a method of obtaining information regarding the tested value in devices for non-destructive testing which use the eddy-current sensors. The method is based on the definition of the components of impedance of such sensor using the phase response of the measuring circuit containing the sensor.

Introduction. A number of non-destructive testing methods (NDT) of substances, materials and products are based on the use of non-contact eddy-current sensors of parametric type [1, 2].

The impedances Z of such sensors depends on the controlled magnitude x and frequency f of the current flowing through the sensor:

$$Z(x, f) = \operatorname{Re}[Z(x, f)] + j \cdot \operatorname{Im}[Z(x, f)] \equiv Z_{Re} + j \cdot Z_{Im}, \quad j^2 = -1$$

The information regarding x may be obtained indirectly through Z_{Re} , Z_{Im} , by converting values Z_{Re} , Z_{Im} into the value of voltage, current or frequency. This information may be also obtained from derivative values of Z_{Re} and Z_{Im} such as module $M(Z) = [Z_{Re}^2 + Z_{Im}^2]^{1/2}$, $\arctg [Z_{Im}/Z_{Re}]$, as well as from schematic functions of measuring circuit, which includes the sensor.

Background and statement of the problem. Overview of the hardware implementations of these methods has shown that under certain technical conditions of NDT is preferable to the use of schematic functions.

Selection the type of schematic function is based on the structure of the measuring circuit, which include the sensor as component. If circuit is the four-pole, then as schematic function is advantageous to select the function of the transfer on voltage

$$K(s) = U_2(s)/U_1(s),$$

where: $s = \sigma + j\omega$ – Laplace transformation parameter, U_1 , U_2 – voltage at the input and output pair of poles of the measuring circuit, respectively.

The projection of the transfer function $K(s)$ on the frequency axis corresponds the complex coefficient of voltage transmission

$$K(j\omega) = K(s)|_{s=j\omega} = K(\omega) \exp [j\Phi(\omega)],$$

where: $K(\omega)$ - amplitude-frequency characteristic (AFC) measuring circuit, and $\Phi(\omega)$ - its phase-frequency characteristic (PFC).

Data about the components of impedance Z_{Re} , Z_{Im} , and then – about controlled value x can be obtained based on some parameters of AFC and PFC. Thus, for the measuring circuits of the second order, its FRF has an extremum and its PRF – a corresponding point of an inflection. For example, if the FRF have a maximum, that ordinarily use such parameters:

- frequency ω_M , at which the FRF has been achieved the peak K_M ;
- frequency ω_A and ω_B , at which the FRF intersects the level $\sqrt{2} \cdot K_M$ "at left" and "at right" on frequency axis ($\omega_A < \omega_M < \omega_B$);
- value Q which defined from this frequencies: $Q = \omega_M / (\omega_B - \omega_A) \equiv \omega_M / \Delta\omega$.

All these parameters can be determined from the corresponding PFC. This provides a number of significant advantages in comparison with the determination ω_M and Q from AFC [3]. Based on this in [3], it was proposed to use the PFC to determine all three frequencies ω_A , ω_M , ω_B , associated with the values of K_M and $\sqrt{2} \cdot K_M$ AFC. Herewith to obtain information of the controlled value x it was proposed to use such parameters as ω_M and Q .

Naturally has emerge a question about the possibility of develop such method of obtaining information about x which will be able to use only PFC of measuring circuit. This would enable to implement intermediate conversions of information signals in the time domain. In practice this means that such signals can be presented in the form of time interval, frequency and duty factor.

In the context of this question it was set the goal to develop a method for getting information about controlled value x with using only PFC of the measuring circuit. For this the method should provide the

measurement of magnitudes components of impedance of the sensor Z_{Re} , Z_{Im} .

Main section. Consider the measuring circuit of 2nd order implemented as Γ -like four-pole, which includes the eddy-current sensor which has impedance

$$Z = Z_{Re} + jZ_{Im} = R + j\omega L \quad (1)$$

and an auxiliary capacitor with impedance $Z_C = -j/(\omega C)$, где $\omega = 2\pi f$ (Fig.1a).

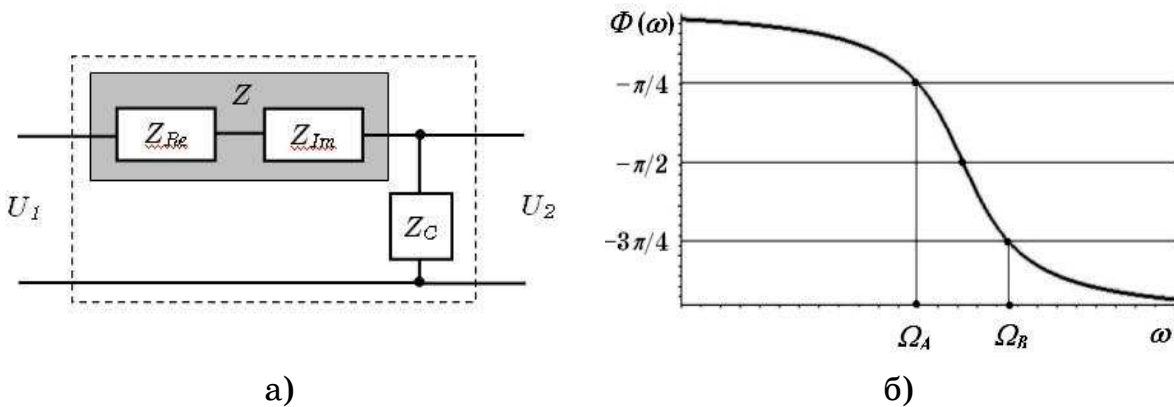


Figure 1 – The measuring circuit: a) chain structure;
b) PFC fragment in the vicinity of the inflection point

The transfer function on voltage for this circuit $K(s) = U_2(s)/U_1(s) = Z_C(s)/(Z_R(s) + Z_I(s))$. It has two complex conjugate poles in the left half surface ($\sigma, j\omega$) of the complex variable s , so that AFC $K(\omega)$ has a maximum in the frequency domain, and PFC $\Phi(\omega)$ - the corresponding point of inflection at the level $-\pi/2$ (Fig. 2b).

PFC $\Phi(\omega)$ of the measuring circuit represented as:

$$\Phi(\omega) = \text{arctg} \frac{R}{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}, \quad 0 < \Phi(\omega) < -2\pi \quad (2)$$

Rewrite (1) otherwise:

$$\text{tg} \Phi(\omega) = \frac{R}{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} \quad (3)$$

Substituting in (3) $\omega = \Omega_A$ and $\omega = \Omega_B$, we obtain a system of 2 equations:

$$\text{tg} \Phi(\Omega_A) = \frac{R}{\left(\Omega_A L - \frac{1}{\Omega_A C}\right)}, \quad \text{tg} \Phi(\Omega_B) = \frac{R}{\left(\Omega_B L - \frac{1}{\Omega_B C}\right)} \quad (4)$$

If at frequencies Ω_A и Ω_B magnitude of PFC $\Phi(\Omega_A) = -\pi/4$ and $\Phi(\Omega_B) = -3\pi/4$, as its shown in Fig. 2, that

$$\operatorname{tg} \Phi(\Omega_A) = -1, \operatorname{tg} \Phi(\Omega_B) = 1$$

and solution of system (4) concerning R and L elementary simple:

$$L = \frac{1}{\Omega_A \Omega_B C} = \frac{1}{(2\pi f)^2 F_A F_B C}; R = \frac{\Omega_B - \Omega_A}{\Omega_A \Omega_B C} = \frac{F_B - F_A}{(2\pi f)^2 F_A F_B C}, \quad (5)$$

where $F_A = 1/2\pi\Omega_A$ and $F_B = 1/2\pi\Omega_B$.

If Ω_A and Ω_B chosen so that the angle $\Phi(\Omega_A) \neq -\pi/4$ и $\Phi(\Omega_B) \neq -3\pi/4$, the formula (6) become only more complicated computationally. Let's show it.

Assume Ω_A and Ω_B is such that $\Phi(\Omega_A) = -\pi/2 + \varphi$, $\Phi(\Omega_B) = -\pi/2 - \varphi$, where $0 \leq \varphi \leq \pi/2$. In this case $\Phi(\Omega_A)$ and $\Phi(\Omega_B)$ located "symmetrically" concerning level $-\pi/2$ and (6) takes the form:

$$L = \frac{1}{\Omega_A \Omega_B C}, R = \frac{\Omega_B - \Omega_A}{\Omega_A \Omega_B C \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} \quad (5')$$

And finally, assume that Ω_A and Ω_B such that $\Phi(\Omega_A) = -\pi/2 + \varphi$, $\Phi(\Omega_B) = -\pi/2 - \psi$, where $0 \leq \varphi \leq \pi/2$, $0 \leq \psi \leq \pi/2$. In this case $\Phi(\Omega_A)$ and $\Phi(\Omega_B)$ located "asymmetrically" concerning level $-\pi/2$ and (6) takes such form:

$$L = \frac{\Omega_A \operatorname{tg}(\varphi) + \Omega_B \operatorname{tg}(\psi)}{\Omega_A \Omega_B C [\Omega_B \operatorname{tg}(\varphi) + \Omega_A \operatorname{tg}(\psi)]}, R = \frac{(\Omega_B)^2 - (\Omega_A)^2}{\Omega_A \Omega_B C [\Omega_B \operatorname{tg}(\varphi) + \Omega_A \operatorname{tg}(\psi)]} \quad (5'')$$

From formulas (5) - (5'') follows that in order to obtain the numerical values of the parameters R and L of the sensor, sufficiently gauge only two frequencies: $F_A = 1/2\pi\Omega_A$ and $F_B = 1/2\pi\Omega_B$ using PFC of measuring circuit.

Then, if exist a certain continuous and mutually unambiguous dependence $R = R(\mathbf{x})$ and (or) $L = L(\mathbf{x})$, then the transformation functions required for the implementation of the NDT, may be represented in the form $\mathbf{x} = U_R(F_a, F_b)$ or $\mathbf{x} = U_L(F_a, F_b)$.

This will be true, since the auxiliary capacitor of measuring circuit (see component Z_C on fig.1a) does not interact with the testing object and respectively capacitance C is independent of $\mathbf{x}$. Lets consider two cases.

1. It is necessary to obtain information on *deviations* Δx from the specified standards x_0 . Because in formulas (5) - (5) - (5'') value of $1/C$ is a constant, we must only provide sufficient thermal stability of capacity C .

2. It is necessary to obtain information concerning the *absolute values* of x . In this case the capacity C also must be independent on temperature but moreover, the numerical value of C must be measured in advance with the required accuracy.

Now consider the question of the uncertainty of the numerical value of the reactive component of the impedance $ZI_m = \omega L$, because the value of L is determined by two frequencies $\omega = \Omega_A$ and $\omega = \Omega_B$. This question is of fundamental importance if it comes to *measuring* the magnitude ZI_m at the some specified frequency. However, the proposed here Phase method is not intended to solve problems that relate to the field of impedance measurements as such.

Therefore, since the frequency ω is independent parameter, therefore for the tasks of NDT the value ωL carries no additional information of tested value x in comparison with value of L .

The formulas (5) - (5'') were obtained on the basis of the simplest model of an eddy-current sensor when its impedance may be presented as $Z = Z_{Re} + jZ_{Im} = R + j\omega L$. They are shown here only to explain the essence of the proposed method.

The model of real eddy-current sensor necessarily includes its own winding capacitance C_o . Its calculation which depends on form-factor of the winding and the dielectric constant of the body of winding, is a very difficult task, even if the winding implemented as solenoid [4]

Therefore we will simply use C_o in the next model of the sensor as is, without representation C_o in the form some formula. In this case, based on theoretical studies presented in [4], we assume that the value of C_o does not depend on the frequency.

Then calculation of the impedance gives:

$$Z = \frac{R}{1 + [(R^2 + (\omega L)^2) - 2(L/C_o)] (\omega C_o)^2} + \\ + j\omega \frac{L - [(\omega L)^2 + R^2] C_o}{1 + [(R^2 + (\omega L)^2) - 2(L/C_o)] (\omega C_o)^2},$$

so that, if interpret this expression like (1), we can write $Z \rightarrow Z(\omega) = R(\omega) + j\omega L(\omega)$, namely:

$$R(\omega) = R + 2R\omega^2 LC_o, \quad L(\omega) = L + [(\omega L)^2 - R^2]\omega C_o.$$

To simplify subsequent formula of PFC $\Phi(\omega)$ we fulfill series expansion of Z in the neighborhood of $C_o = 0$. Without loss of generality, we can consider only the first two terms of the expansion. We have:

$$\Phi(\omega) = \arctg \left(\frac{R(1 + 2\omega^2 LC_o)}{[(\omega L)^2 - R^2]\omega C_o + (\omega L - \frac{1}{\omega C})} \right).$$

However, to obtain the solution of equations

$$\operatorname{tg} [\Phi(\Omega_A, R, L)] = -1, \quad (6)$$

$$\operatorname{tg} [\Phi(\Omega_B, R, L)] = 1$$

in an analytical form as functions of R and L , just as was done for the formulas (5) - (5''), not possible as a matter of principle. Furthermore, at attempting of numerical solution of this system is encountered problem associated with a discontinuity of function $\operatorname{tg} [\Phi(\omega, R, L)]$ at $\Phi(\omega, R, L) = \pi/2$.

The latter problem can be solved as follows. Suppose that the frequency Ω_A determined experimentally at which $\Phi(\Omega_A) = -\pi/4$, and the frequency Ω_B at which $\Phi(\Omega_B) = -3\pi/4$. Then, instead of (6), we get the set of equations

$$\Phi(\Omega_A, R, L) = -\pi/4, \quad (7)$$

$$\Phi(\Omega_B, R, L) = -3\pi/4.$$

Numerical solution of the set concerning R and L is free of the above problem, since the function $\Phi(\omega, R, L)$ in the neighborhood of the interval $(-\pi/4, -3\pi/4)$ is smooth and have not point of break fig. 2b).

Finally, let's consider the most common model of the eddy-current sensor. It may be represented as:

$$Z(x, \omega) = R(x, \omega) + j\omega L(x, \omega), \quad (8)$$

where formulas for $R(x, \omega)$ and $L(x, \omega)$ can be obtained by using the results given in some studies [1, 2 and other].

Conclusions. The solutions of the set of equations (7) for the components $R(x, \omega)$ and $L(x, \omega)$ is based on a generalized model of the eddy-current sensor (8) is basic method for obtaining information about the tested value x . The formulas (5) - (5'') are also possible to use, if it

is allowable by the technical conditions of the NRC. For the implementation of this method necessary that PFC $\Phi(\omega)$ can be described in analytical form (as formulas). $\Phi(\omega)$ may also be described as an approximation function obtained by semi-empirical way.

REFERENCES

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий В 2-х книгах. Кн. 2 [Текст]/Под ред. В.В. Ключева. - М.: Машиностроение, 1986. - 488 с.
2. Соболев В.С. Накладные и экранные датчики (для контроля методом вихревых токов) [Текст] / В.С. Соболев, Ю.М. Шкарлет - Новосибирск, Наука, 1967. - 139 с.
3. Хандецький В.С., Сивцов Д.П. Використання прямого цифрового синтезу частот та фазового детектування в приладах вихорострумowego та електрострумового неруйнівного контролю. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 5(64). - Дніпропетровськ, 2009. - С.115-126
4. Knight D.W. The self-resonance and self-capacitance of solenoid coils [Интернет - ресурс]. Режим доступа:
www.g3ynh.info/zdocs/magnetics/appendix/self_res/self-res.pdf

В.В. Спірінцев, О.Є. Баланенко

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ API ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ БІБЛІОТЕК В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Анотація. Запропоновано універсальне програмне забезпечення на базі мови програмування C# з використанням API для розширення бібліотек в найбільш поширених системах автоматизованого проектування: КОМПАС, Autodesk Inventor, SolidWorks.

Ключові слова: автоматизоване проектування, API, C#, параметризація.

Постановка проблеми. Сучасний ринок програмного забезпечення автоматизації підготовки виробництва насичений найрізноманітнішими універсальними САПР, що здатні суттєво полегшити роботу проектувальника. Разом з тим, незважаючи на величезну кількість такого виду інструментальних засобів автоматизації інженерної діяльності, універсальні системи часто недостатньо ефективні для вирішення конкретного завдання користувача, за часту інформаційно несумісні.

Більшість застосовуваних у промисловості тривимірних САПР можуть бути використані як основа для побудови спеціалізованих САПР, які вирішують завдання розрахунку і проектування конкретного класу виробів. При цьому необхідно об'єднати розрахунковий модуль, який визначає розмірні та інші параметри проектного об'єкта з уже наявним в САПР тривимірним геометричним ядром. Цей процес здійснюється за допомогою API - інтерфейс прикладної програми. Набір таких інтерфейсів забезпечує взаємозв'язок між зовнішніми модулями прикладної програми і низькорівневими функціями ядра, а так само між компонентами ядра – різними бібліотеками, що істотно підвищує потенційні можливості застосування універсальних систем в специфічних предметних областях.

Аналіз останніх досліджень. Попередні дослідження [1, 2], були орієнтовані на розробку програмного забезпечення для конкретної CAD (Computer-Aided Design) системи із застосуванням мови програ-

мування Delphi. Цей факт істотно звужував область використання запропонованого програмного забезпечення. На більшості підприємств за часту встановлені різні CAD-системи, враховуючи специфіку виробництва та вирішуваних ними завдань. Для більш ефективної роботи проєктувальників та з метою скорочення часу на проєктування було б доцільно розробити універсальне програмне забезпечення на базі мови програмування C# з використанням API для розширення бібліотек в найбільш поширених системах автоматизованого проєктування: КОМПАС, Autodesk Inventor, SolidWorks.

Метою даної роботи є узагальнення та систематизація результатів досліджень по розробці програмного забезпечення для розширення бібліотек нових виробів в найбільш поширених системах автоматизованого проєктування при організації сучасного виробництва.

Основна частина. На рисунку 1 наведено загальну схему параметризації моделі.

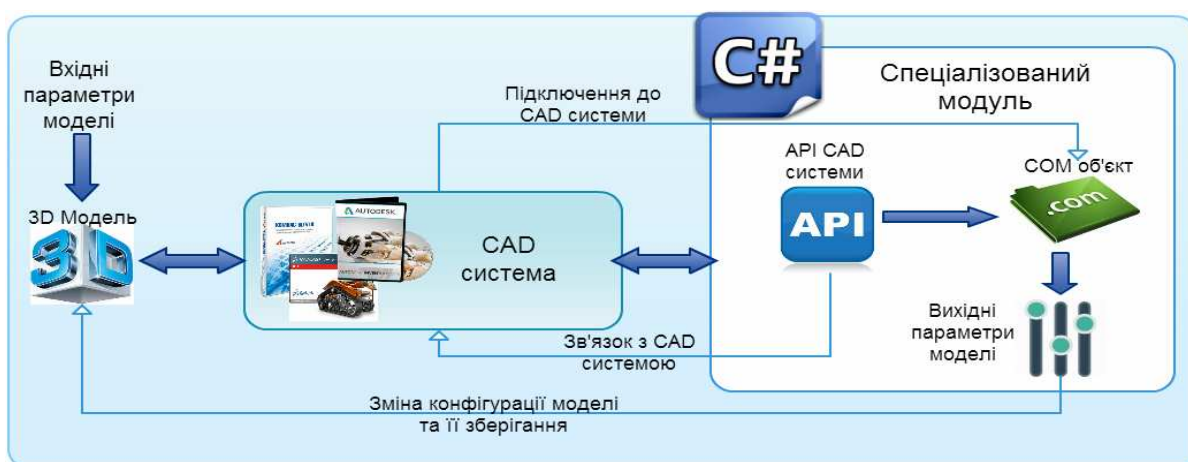


Рисунок 1 - Загальна схема зміни конфігурації 3D моделі

Робота з процесами CAD-систем здійснюється за допомогою COM (Component Object Model - об'єктна модель компонентів) об'єктів - це технологічний стандарт від компанії Microsoft, призначений для створення програмного забезпечення на основі взаємодіючих компонентів, кожен з яких може використовуватися в багатьох програмах одночасно. Основним поняттям, яким оперує стандарт COM, є COM-компонент. Кожен COM-компонент має унікальний ідентифікатор (GUID) і може одночасно використовуватися багатьма програмами. Компонент взаємодіє з іншими програмами через COM-інтерфейси - набори абстрактних функцій і властивостей. Кожен

COM-компонент повинен, як мінімум, підтримувати стандартний інтерфейс «IUnknown», який надає базові засоби для роботи з компонентом. Інтерфейс «IUnknown» включає в себе три методи: QueryInterface, AddRef, Release.

Windows API надає базові функції, що дозволяють використовувати COM-компоненти. Бібліотеки MFC і, особливо, ATL / WTL надають більш гнучкі та зручні засоби для роботи з COM.

Загальний алгоритм роботи:

1. Створення COM об'єкта, використовуючи системний метод CreateInstance (), параметр - тип CAD системи, об'єкт якої створюється.

2. Відкриття файлу моделі, яка має бути піддана модифікації.

3. За допомогою API функцій відповідної CAD-системи, отримуємо список параметрів (записуємо їх у користувацький інтерфейс, що виводить поточні значення цих параметрів).

4. Після зміни користувачем параметрів 3D моделі і натискання кнопки «Перебудувати», модель деталі перебудовується.

Ієрархія класів реалізованого програмного модуля «CADet» показана на рисунку 2.

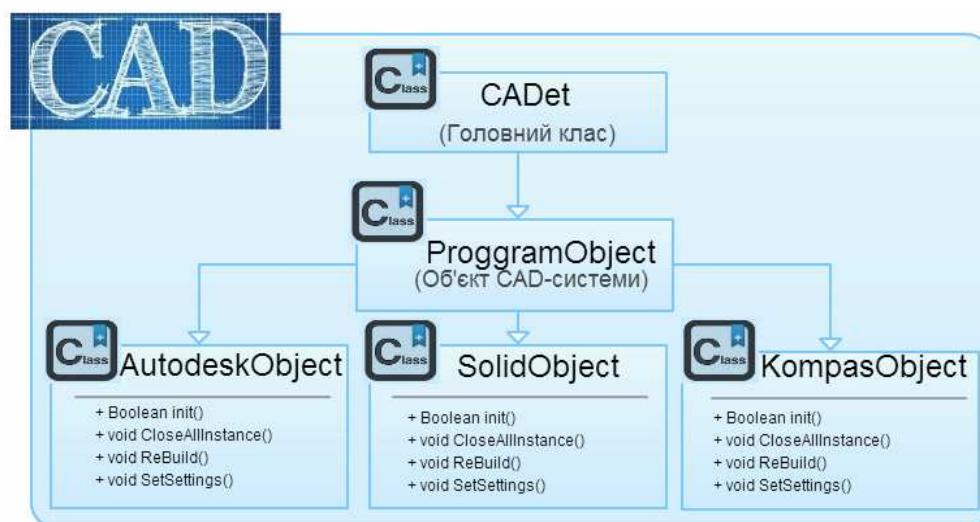


Рисунок 2 - Ієрархія класів програмного модуля "CADet"

Для прикладу, розглянемо більш докладно процес розробки програмного забезпечення на базі API Autodesk Inventor.

Для отримання можливості працювати з API Autodesk Inventor, в проект необхідно додати посилання на бібліотеку - Interop.dll (за замовчуванням для 64-розрядної операційної системи перебуває в кореневій папці

«C:\Windows\Microsoft.NET\assembly\GAC_MSIL\Autodesk.Inventor.Interop\v4.0_19.0.0.0__d84147f8b4276564\autodesk.inventor.interop.dll», також її можна завантажити з офіційного сайту).

Перед тим як створити новий процес Autodesk Inventor, необхідно закрити всі поточні процеси Autodesk Inventor (з метою оптимізації роботи):

```
Process[] processes =
Process.GetProcessesByName("INVENTOR");
foreach (Process proces in processes)
{
    proces.CloseMainWindow();
    proces.Kill();
}
```

Далі створюємо новий процес Autodesk Inventor і наводимо тип COM об'єкта до типу Inventor.Application:

```
Type t = Type.GetTypeFromProgID("INVENTOR.Application");
v_invApp =
(Inventor.Application)Activator.CreateInstance(t);
```

Inventor.Application - посилання на об'єкт Autodesk Inventor, точка входу для використання API Autodesk Inventor.

Створюємо новий 3D документ типу Inventor_Document і відкриваємо 3D модель використовуючи метод Open об'єкта Inventor_Document.Documents:

```
Inventor._Document v_file;
v_file =
v_invApp.Documents.Open(@"F:\Детали\Корпус\Деталь.ipt");
```

При натисканні на кнопку «Перебудувати», викликається метод ReBuild (), який отримує посилання на активний документ - 3D документ типу:

```
dynamic otherdoc = v_invApp.ActiveDocument;
```

З об'єкта otherdoc отримуємо посилання на список змінних 3D документа типу oParameters і посилання на список параметрів поточної моделі:

```
Parameters oParameters =
otherdoc.ComponentDefinition.Parameters();
ModelParameters ModelParams =
oParameters.ModelParameters;
```


Далі, проходячи циклом з цієї колекції, змінюємо значення параметрів. Після зміни значень параметрів, необхідно перебудувати 3D документ:

```
v_file.Update();
```

Таким чином, за допомогою API Autodesk Inventor, програмний модуль змінює значення параметрів 3D моделі. При необхідності, можна зберегти поточний результат або ще раз змінити значення параметрів і знову перебудувати модель.

Інструкція користувача:

1. Створення параметризованого об'єкта.
2. Підключення до програмного середовища, в якому необхідно змінити об'єкт (Autodesk Inventor, SolidWorks, Компас 3D). Інтерфейс «підкаже» користувачу, коли з'єднання відбулося.
3. Завантаження об'єкта в програмний модуль, у вікно програмного модуля динамічно завантажаться параметри моделі.

Тепер користувач має змогу переглянути модель (рисунок 3).

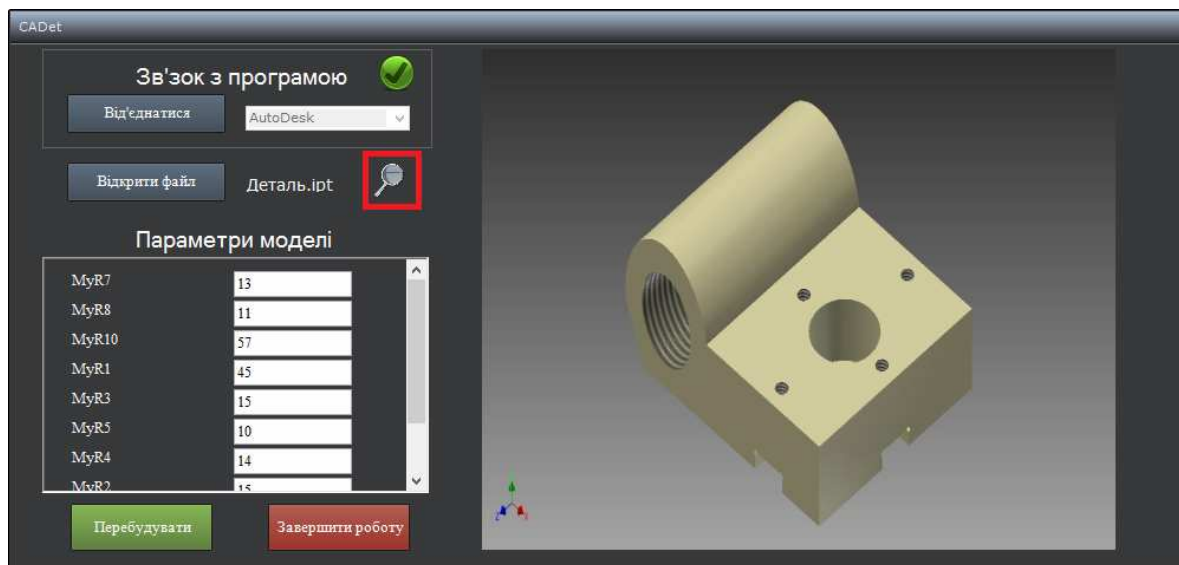


Рисунок 3 - "CADet" - користувацький інтерфейс модуля САПР

4. Зміна параметрів креслення.
5. Перебудова об'єкта.

Висновки. В роботі запропоновано універсальне програмне забезпечення на базі мови програмування C# з використанням API для розширення бібліотек в найбільш поширених системах автоматизованого проектування: КОМПАС, Autodesk Inventor, SolidWorks. Розроблене програмне забезпечення враховує потреби сучасного виробництва.

Подальший розвиток запропонованих досліджень можливо проводити в напрямку розширення функціоналу розробленого модулю та пошуку нових шляхів формування складних поверхонь виробів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Спірінцев В.В. Використання API- інтерфейсу КОМПАС в автоматизованому проектуванні / В.В.Спірінцев, С.В.Троян// Актуальні проблеми дисциплін природничо- наукової і професійно-практичної підготовки сучасних інженерів // Матеріали Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції – Херсон, ХДАУ, 2011.- С.61-64.
2. Спірінцев В.В. Розробка спеціалізованого програмного модуля для проектування типових деталей/ В.В.Спірінцев// Сучасні проблеми геометричного моделювання // Збірник праць XIV Міжнародної науково - практичної конференції. – Мелітополь, ТДАТУ 2012. – с. 103-107.

PHOTOGRAMMETRIC IMAGE HOLDER EXPONENT BASED SEGMENTATION

Abstract. The aspects of photogrammetric images segmentation based on multifractal analysis are studied in this paper in order to extract the edges of the developed object optimally.

Keywords: photogrammetric image, fractal analysis, segmentation, Holder exponent.

Problem. The principle of multifractal based image segmentation is the following. It seems intuitively clear that points in an image can be classified according to their Holder exponent [1]. Let us take the example of points lying on contours. These points often correspond to discontinuities of the grey level map or of its derivative. They thus have in general "low" Holder regularity. However, the exact value of the exponent will depend on the characteristics of the image. In addition, the property of being an edge is not purely local, and one needs a global criterion in order to decide that a given point is an edge point. Indeed, points lying in textured regions also have in general a low regularity, and one has to find a way to distinguish them from contours.

Analysis of researches. As a powerful mathematic tool, fractal theory initiated by Mandelbrot [2] has been widely applied to many areas of natural sciences. The approach of Image Multifractal Segmentation is fully non parametric, and analyses the image through various features of its multifractal spectrum [3]. Although it is perfectly possible to use Weakly Self Affine functions [4] to model and segment images as well as to use multifractal tools for the segmentation of 1D signals. In fact this is really a modeling method used for segmentation purposes.

The aim of the work is to study the way of fractal analysis of photogrammetric images fixed in a number of spectrum ranges by iconic means of remote sensing.

Theoretical information. Since edges are by definition sets of points of dimension one, we shall declare a point to lie on a contour if it

has an exponent such that the associated value of the multifractal spectrum is one. Note that, in addition to this geometrical characterization of edge points, a statistical one is possible. Edge points may be defined through their probability of being hit when a pixel is randomly chosen in the image at a given resolution. The link between the geometrical and statistical characterizations is provided by the multifractal formalism. Starting again from the Holder exponents, one can decide to keep those points where the spectrum has any given value. One starts by computing the Holder exponent at each point. This yields the image of Holder exponents. The second step is to compute the multifractal spectrum. Finally, one chooses which kind of points to extract, i.e. points on smooth edges, textures, etc..., by specifying the corresponding value of the spectrum.

The analysis is performed with respect to the Lebesgue measure; exponents are computed by comparing the content of a region with its size.

The computation of the Pointwise Holder exponent is executed by different ways of measuring the content of a given region in the image:

- associating to each region the *sum* of the grey level of the pixels in it;
- computing the L_p norm, i.e. the $1/p$ -power of the sum of the p -powers of the individual grey levels (*lpsum* capacity);
- measuring the region content by the *minimum* of the grey levels of its pixels;
- measuring the region content by the *maximum* of the grey levels of its pixels;
- assigning to a region the cardinal of the largest subset of pixels having the same grey level (*iso* capacity).

For instance, if a region is composed of N pixels all having different grey levels, its *iso* capacity will be one. If all pixels have the same grey level, the *iso* capacity is N . The *adaptive iso* is a refinement of this taking into account a possible noise in the image.

At the next step the multifractal spectrum could be computed by one of the following three algorithms. The Hausdorff spectrum gives geometrical information pertaining to the dimension of sets of points in the image having a given exponent. This spectrum is a curve where abscissa represent all the Holder exponents that occur in your image, and the ordinate is the dimension of the sets of pixels with a given exponent.

The second spectrum is the large deviation spectrum. This spectrum yields a statistical information, related to the probability of finding a point with a given exponent in the image. The computation is based on techniques used in density estimation, and uses a kernel of optimal, signal dependent, size computed from some empirical statistical criterion. The third spectrum is called the Legendre spectrum. It is just a concave approximation to the large deviation spectrum. Its main interest is that it usually yields much more robust estimates, though at the expense of an information loss.

During segmentation those points the exponent of which have a corresponding value of spectrum that falls inside the definite range of dimensions are being extracted from the original image. The result is a binary image, where the extracted points are in white and everything else is black.

Results. As a testing image the Ikonos NIR multispectral image of urban area was kept. The resolution of this one is 4 meters and spectral range is 0.77 - 0.88 mkm.



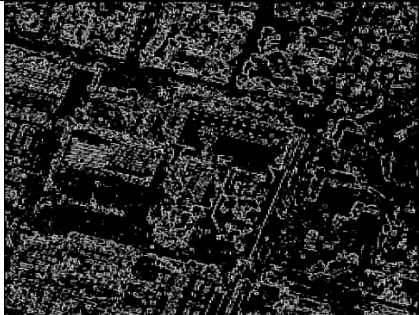
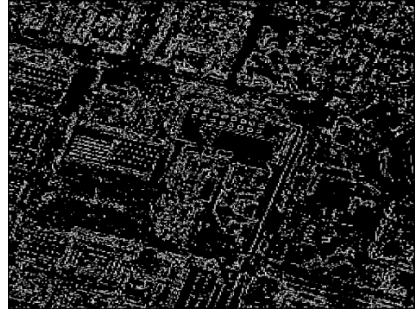
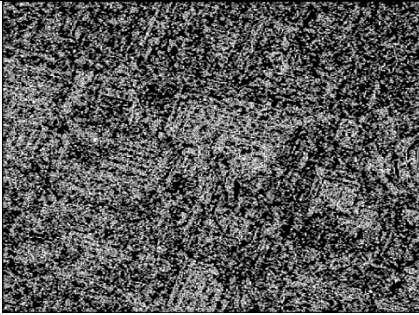
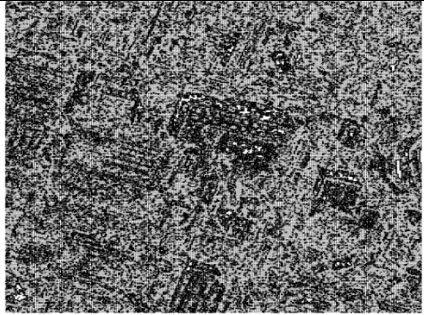
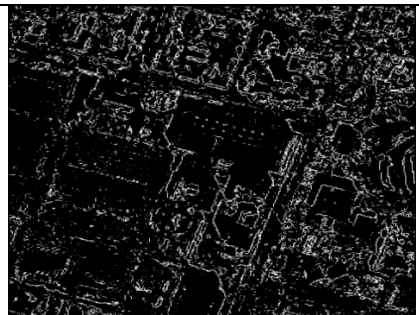
Figure 1 – Initial photogrammetric image

The images obtained after segmentation process are shown below in Table in accordance to Holder exponent capacity and Segmentation special parameter correspondence provided Hausdorff Spectrum was used.

The segmentation results were estimated by SSIM Index [5], which shows the result image geometrical structure similarity to initial one. The one is the maximum value of SSIM index which correspond to the maximum identity between two compared images. In this paper we estimate the efficiency of segmentation algorithm while applying it for photogrammetric images.

Table 1

Segmentation results and corresponding SSIM index value

Spectrum Holder exponent	[0.75, 1.25] for reasonable edge detection	[1.5, 2.0] for "fat" binary image containing smooth regions
Min	 0.0033	 0.0296
Max	 0.0267	 0.5051
Iso	 0.0084	 0.0883
Adoptive Iso	 0.1502	 0.0022

Conclusions. While computing the Holder Exponent It should be mentioned that the most important capacities are the *sum*, *max*, and *iso* ones. The choice of one capacity rather than another one should be performed on a trial and error basis. As a general rule, *max*, *min* and (*adaptive*) *iso* capacities give more robust and meaningful results. In any case, it should be experimented with different capacities and look at the result before you decide which one you choose: different capacities will often highlight different aspects of your image.

While computing the box dimensions for sets of points for Hausdorff spectrum be warned that excessive max boxes sizes (over 64) will result in long computation times. Increasing the min boxes yields smoother but less precise spectra.

The shape of the spectra for a typical image is very different depending on the capacity: for the *sum* capacity, it generally has an approximately bell shape. For the *max* capacity, it looks more like a segment of the form $y = 2 - ax$, with $a > 0$, as for the *iso* one, it would resemble $y = ax$, again with $a > 0$.

Further development of the photogrammetric image segmentation may hold towards small object detection in a number of parameter variations.

SOURCES

1. Trujillo L. The Estimation of Holderian Regularity using Genetic Programming / L. Trujillo, P. Legrand, J. Levy-Vehel. // GECCO'10. - 2010. - PP. 861-686.
2. Mandelbrot B.B. Fractional Brownian motions, fractional noises and applications / B.B. Mandelbrot, J.W. Van Ness. // SIAM Rev. 10 (4). - 1968. - PP. 422-437.
3. Levy-Vehel J. Thinking in Patterns / J. Levy-Vehel, P. Legrand // Signal and Image Processing with FRACLAB. - 2004. - PP. 321-322.
4. Levy-Vehel J. Weakly Self Affine Functions and Application in Signal Processing / J. Levy-Vehel // CUADERNOS del Instituto de Matematica "Beppo Levi", 30, ISSN 03260690, 2001.
5. Wang Z. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity / Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, E. P. Simoncelli // IEEE Trans. Image Processing. - 2004. - vol. 13. - PP. 600 - 612.

С.В. Тищенко

СТВОРЕННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ОСЦИЛОГРАФА НА БАЗІ СУЧАСНОГО МІКРОКОНТРОЛЕРА

Анотація. Запропоновано рішення для отримання вимірювального пристрою бюджетного класу. Досліджено можливість створення вимірювального пристрою на базі сучасних мікроконтролерів. Створено і випробувано прототип віртуального осцилографа.

Ключові слова: осцилограф, мікроконтролер, АЦП, вимірювання, прилад.

Вступ. Розробникам цифрових електронних пристроїв інколи дуже бракує осцилографа з помірними характеристиками для відслідковування стану ліній цифрової схеми. Осцилографи з широкою смугою пропускання мають високу вартість. Виходом з цієї ситуації може бути віртуальний осцилограф.

Основна частина. Осцилограф — це прилад для вимірювання та запису параметрів електричного сигналу. За способом обробки вхідного сигналу осцилографи поділяють на аналогові та цифрові. Останнім часом все більшої популярності набувають саме цифрові осцилографи завдяки ширшим можливостям. Оцифровка сигналу дозволяє уникнути відображення сигналу у реальному масштабі часу та таким чином підвищити стійкість зображення, надає можливість зберігати результати, спрощує масштабування.

Осцилографи з широкою смугою пропускання не кожен може собі дозволити через їх високу вартість. Але розробникам цифрових електронних пристроїв часто буває достатньо спостерігати сигнали, що змінюються з не надто високою частотою. Для розробки віртуальних цифрових осцилографів використовують комп'ютер з відповідним ПЗ та пристрій спряження із зовнішніми сигналами. Задачу спряження можна виконати на базі мікроконтролера зі своїм ПЗ, яке разом з ПК дозволяє створити віртуальний осцилограф зі змінними характеристиками. Така мінімізація кількості апаратних вузлів осцилографа (не має власного дисплею та панелі керування) дозволяє суттєво зменшити його ціну.

У якості демонстрації пристрій спряження було створено на базі STM32F4-DISCOVERY (рисунок 1). STM32F4-DISCOVERY – високопродуктивна дослідницька плата для мікроконтролера STM32F4. Вона дозволяє вивчати можливості МК STM32F4 і легко розробляти власні програми [1].

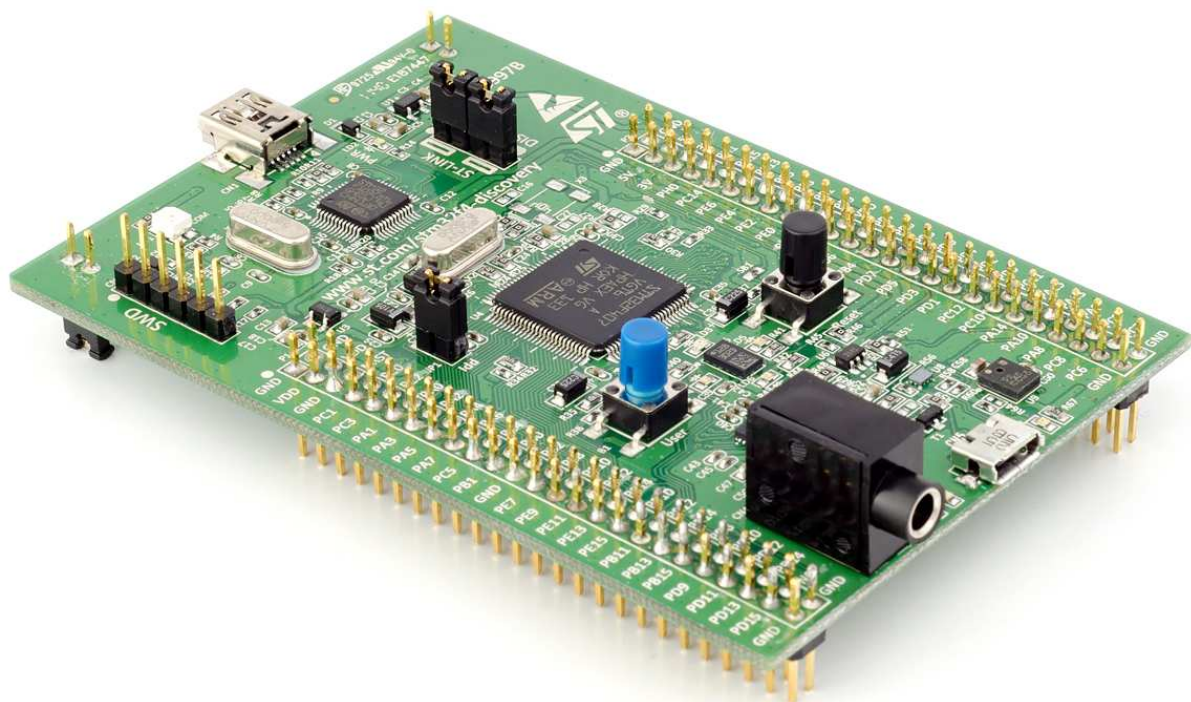


Рисунок 1 – STM32F4-DISCOVERY

Для обміну даними з комп'ютером було обрано інтерфейс UART. Причиною такого вибору стало співвідношення між його перевагами та недоліками.

Переваги:

- простота;
- наявність його у більшості МК;

Недоліки:

- низька швидкість обміну даними;
- відсутність пакетної передачі.

Програма керування пристроєм написана мовою C#, бібліотека класів якої містить клас SerialPort, що призначений для взаємодії з інтерфейсами COM/UART на комп'ютері.

АЦП мікроконтролерів STM32 працює за принципом послідовного наближення. Провести вимір - завдання нескладне, не так вже й багато налаштувань потрібно зробити. А от кількість різних режимів

вимірювань та їх комбінації - це інша справа. По-перше, зовнішніх входів для вимірювань в кристалі передбачили досить багато. По-друге, також багато і внутрішніх джерел апаратного запуску перетворення, це таймери і 2 зовнішніх входи, які формують сигнал старту перетворення [2].

Аналогові величини надходять в перетворювач або з зовнішніх входів (для цього вони повинні бути налаштовані на роботу в аналоговому режимі), або від двох внутрішніх джерел. Внутрішні джерела для АЦП - це температурний датчик і внутрішня опорна напруга. Результат перетворення зберігається в спеціальних регістрах. Для регулярних каналів регістр даних має всього одну клітинку розмірністю 16 біт. Для інжекттованих каналів можна зберегти результати відразу 4 перетворень поспіль (розмірність теж 16 біт). Перед наступними перетвореннями результат потрібно зчитати, інакше він буде перезаписаний новим значенням. Для регулярних каналів в цьому випадку можна відразу ж після перетворення пересилати результати у виділену область пам'яті, для цього передбачений режим "прямого доступу до пам'яті" - DMA (Direct Memory Access) [2].

- Розрядність АЦП можна змінювати - це може бути 6, 8, 10, або 12 розрядів.
- Для одного каналу можна задати різні режими: одноразово виміряти аналогову величину або ж запустити канал у режимі безперервного вимірювання.
- Режим сканування. Можна створити групу каналів, задати порядок проходження каналів в групі. Тоді вимірювання будуть йти послідовно один за одним, вхідний мультиплексор буде підключати зовнішні канали до АЦП по черзі, відповідно до запрограмованого порядку.
- Вирівнювання результату перетворення вліво або вправо.
- Час вибірки можна запрограмувати індивідуально для кожного каналу.
- Функція зовнішнього запуску для регулярних і інжекттованих каналів.
- Режим "переривчастих" перетворень.

- Перетворення завжди відбувається на максимальній швидкості, вона залежить тільки від частоти тактування АЦП ($ADCCLK = 4, 8, 16$ МГц). При 4 МГц воно дорівнює 4 мкс, при 16 МГц - 1 мкс.

- Функції автоматичного ввімкнення/вимкнення АЦП при наявності / відсутності перетворень з метою зниження енергоспоживання.

- Вимоги до напруги живлення: 2.4В - 3.6В при роботі на максимальній швидкості, не менш 1.8 вольт на повільних швидкостях. Розмах вхідного сигналу не повинен виходити за межі опорного напруги V_{ref} .

- Можливість введення тимчасової затримки, автоматично вставляється між перетвореннями. Тривалість затримки програмується.

- Генерація запиту для прямого доступу до пам'яті (режим DMA) під час перетворення в регулярному каналі.

Демонстрацію роботи створеного віртуального осцилографа зображено на рисунку 2.

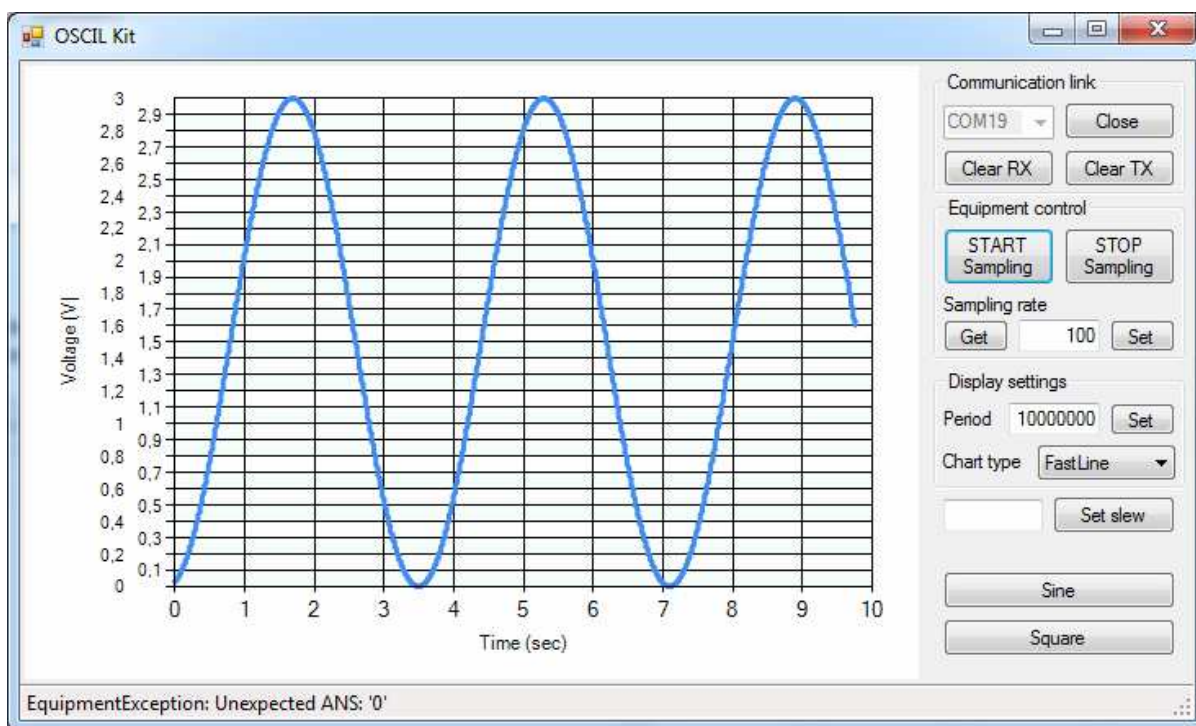


Рисунок 2 – Користувальська програма у взаємодії з пристроєм

Для початку роботи потрібно обрати порт, до якого підключений мікроконтролер та натиснути кнопку «Open». Після успішного відкриття порту треба натиснути кнопку «START Sampling». Це зму-

силь програму відправити мікроконтролеру команду на початок роботи. Результат цієї дії показаний на рисунку 2.

Отже, мікроконтролер отримує команди від програми, а програма малює графік виходячи з даних, що надходять від МК.

Для завершення роботи можна просто натиснути кнопку «Close», а про відправлення мікроконтролеру команди на зупинку роботи програма подбає сама.

Висновки. Пристрій спряження було створено на базі високопродуктивної дослідницької плати STM32F4-DISCOVERY. Інтерфейсом обміну даними було обрано UART. Проте, низька швидкість обміну через нього створює певні обмеження. Тому треба використовувати більш високошвидкісний інтерфейс.

Пристрій спряження і програмне забезпечення для комп'ютера, що взаємодіє з цим пристроєм, утворюють віртуальний осцилограф з характеристиками, що можуть задовольнити невибагливих користувачів.

ЛІТЕРАТУРА

1. STM32F4DISCOVERY, Отладочный комплект на базе STM32F407VGT6 ARM CortexM4-F [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.chipdip.ru/product/stm32f4discovery/> – Назва з екрана.
2. STM32L. ADC — Аналого-цифровой преобразователь. » ChipSpace [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://chip-space.ru/stm32l-discovery-adc/> – Назва з екрана.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИНДУКТИВНОГО ИМПЕДАНСА НА НИЗКИХ ЧАСТОТАХ

Аннотация. Исследованы возможности метода трех вольтметров для измерения индуктивности, активного сопротивления, а также их частотных характеристик. Установлено, что в диапазоне частот до 100 кГц погрешность измерения индуктивности составляет не более 0,3%, активного сопротивления – 8,65%.

Ключевые слова: индуктивность, сопротивление, импеданс, метод трёх вольтметров, измерение, частотная характеристика, добротность, погрешность, образцовая мера.

Введение. Среди методов измерения индуктивного импеданса [1] выделяется метод трех вольтметров [2], который используют на промышленных частотах (50, 400 Гц) для определения мощности, потребляемой приемником электрической энергии, его активного сопротивления, реактанса и полного сопротивления. Сравнение методов Q-метра и мостового [3], используемых для измерения составляющих импеданса в широком диапазоне частот, с методом трех вольтметров показывает, что последний обладает несомненным достоинством – эксплуатационная простота и удобство, заключающееся в том, что для измерения параметров приёмника достаточно всего лишь определить напряжения на трёх участках электрической цепи, состоящей из приёмника электрической энергии с последовательно включенным образцовым сопротивлением. Оценить возможности метода трёх вольтметров для измерения составляющих индуктивного импеданса, а также определения их частотных характеристик в диапазоне выше промышленных частот.

Основная часть. На рис.1 представлена эквивалентная схема измерительной цепи (а) для определения составляющих индуктивного импеданса методом трёх вольтметров и её векторная диаграмма (б), где E – напряжение генератора гармонических колебаний, R_0 – образцовое сопротивление, L , r – индуктивность и активное сопротивление

измеряемого импеданса Z_x , U_o , U_x – падения напряжения на образцовом сопротивлении и измеряемом импедансе, U_L , U_r – реактивная и активная составляющие напряжения U_x , I – ток в измерительной цепи. Импедансы измеряемой индуктивности Z_x и измерительной цепи Z имеют вид

$$Z_x = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}, \quad (1)$$

$$Z = \sqrt{[(R_o + r)]^2 + \omega^2 L^2}, \quad (2)$$

где ω – частота колебаний гармонического генератора E . Для последовательной цепи значения импедансов можно представить, как

$$Z_x = \frac{R_o U_x}{U_o}, \quad Z = \frac{R_o E}{U_o}. \quad (3)$$

Из (1) – (3) следует система уравнений

$$\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2} = \frac{R_o U_x}{U_o}, \quad (4)$$

$$\sqrt{[(R_o + r)]^2 + \omega^2 L^2} = \frac{R_o E}{U_o}, \quad (5)$$

решение которой позволяет получить выражения для активной составляющей индуктивного импеданса

$$r = \frac{R_o}{2} \left(\frac{E^2 - U_x^2}{U_o^2} - 1 \right) \quad (6)$$

и его индуктивности

$$L = \frac{R_o}{\omega} \sqrt{\frac{U_x^2}{U_o^2} - \frac{1}{4} \left(\frac{E^2 - U_x^2}{U_o^2} - 1 \right)^2}. \quad (7)$$

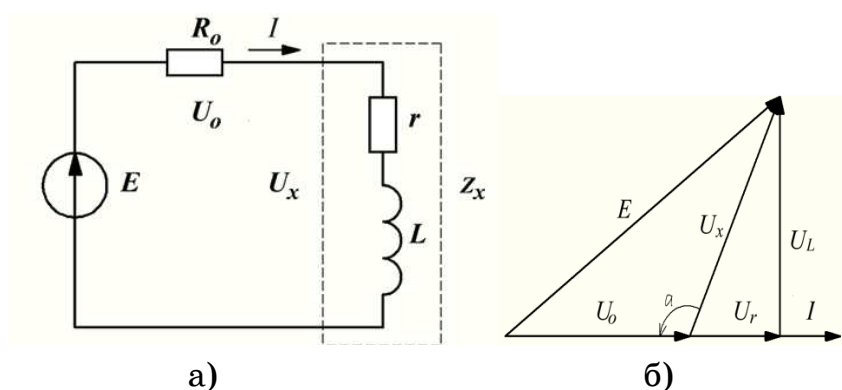


Рисунок 1 – Измерительная цепь (а) и её векторная диаграмма напряжений и тока (б)

Из двух последних выражений следует, что величины r и L можно найти измерением напряжений E , U_x и U_o с последующим вычислением по (6) и (7). Следует отметить, что найденные составляю-

щие индуктивного импеданса $\tilde{r}$ и L будут действительными и положительными при выполнении условия

$$U_x^2 + U_o^2 \leq E^2 \leq (U_x + U_o)^2, \quad (8)$$

на векторной диаграмме (рис. 1б) это означает, что угол α может принимать значения в ограниченном диапазоне $\pi/2 \leq \alpha \leq \pi$.

Для определения возможности измерения составляющих индуктивного импеданса была собрана измерительная схема согласно рис. 1а. В качестве измеряемого импеданса использованы катушки из набора образцовых мер индуктивности типа L-0170 III разряда класса 0,2. Измерения проводились на частоте 1 кГц вольтметром В7-27А/1 с использованием генератора гармонических колебаний ГЗ-118. Образцовым сопротивлением R_o был выбран резистор типа МЛТ-2 с активным сопротивлением 1475 Ом (на частоте 1 кГц).

В таблице 1 представлены результаты измерений, где L_o – номинальные значения образцовых мер индуктивности; L_o , r_o – действительные значения индуктивностей и активного сопротивления мер, полученные мостовым измерителем Е7-8; L , r – индуктивность и активное сопротивление образцовых мер, определенные методом трех вольтметров.

Таблица 1

Результаты измерения образцовых мер индуктивности

L_o , мГн	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200
L_o , мГн	0,201	0,501	1	1,999	4,997	10	20,01	49,99	100	199,9
r_o , Ом	1,612	1,944	2,97	4,73	9,98	20,6	75,2	125,5	294	241
L , мГн	0,225	0,518	0,997	1,984	4,907	9,99	19,9	49,98	99,97	200,5
r , Ом	1,499	1,995	2,987	4,948	11,67	20,7	76,92	125,6	292,7	217,6

Используя метод наименьших квадратов получены уравнения линейной регрессии для индуктивности $L = f(L_o)$

$$L = -0,0641 + 1,0026L_o \quad (9)$$

и активного сопротивления $r = \varphi(r_o)$

$$r = 1,0182 + 0,9601r_o; \quad (10)$$

при уровне значимости 0,001 коэффициенты корреляции составили для индуктивности $r_L \approx 1$, для активного сопротивления $r_r \approx 0,9983$; среднеквадратическое отклонение отдельного измерения индуктивности $\sigma_L = 0,1168$ мГн, активного сопротивления $\sigma_r = 6,5419$ Ом, средняя относительная погрешность измерения индуктивности составила 0,3%, активного сопротивления – 8,7%.

Результаты исследования частотных характеристик показаны на рис. 2. Экспериментальные частотные зависимости индуктивности L , активного сопротивления r и добротности Q определены в диапазоне 0,1 – 100 кГц. В качестве исследуемого индуктивного импеданса использовалась образцовая мера с индуктивностью $L_o = 5$ мГн, омическим сопротивлением 8,8 Ом и добротностью 140. Из полученных зависимостей видно, что в диапазоне частот от 0.1 до 30 кГц активное сопротивление r и индуктивность L остаются практически неизменными с отклонениями в пределах погрешности эксперимента. После 30 кГц активное сопротивление r начинает увеличивать свое значение, что можно объяснить возрастающим влиянием эффекта близости и скин-эффекта. Также наблюдается увеличение индуктивности L из-за шунтирующего влияния распределённой ёмкости катушки и измерительной цепи в целом, которые образуют с индуктивностью параллельный контур с некоторой частотой собственного резонанса f_o . С ростом частоты f при $f < f_o$ импеданс параллельного контура увеличивается, что приводит к кажущемуся увеличению индуктивности L . Это явление вносит погрешность в определение индуктивности на частотах, приближающихся к частоте собственного резонанса катушки. Погрешность можно уменьшить при условии учета величины распределенной емкости, для этого потребуется рассмотрение несколько другой эквивалентной схемы измерительной цепи, в которой учитывается межвитковая емкость измеряемой катушки, входные емкости измерительных приборов и соединительных проводников.

Частотная зависимость добротности $Q = 2\pi f L / r$ исследуемой образцовой меры индуктивности имеет максимум $Q = 133$ на частоте $f = 30$ кГц, величина которого отличается на 5% от добротности, указанной в паспорте образцовой меры.

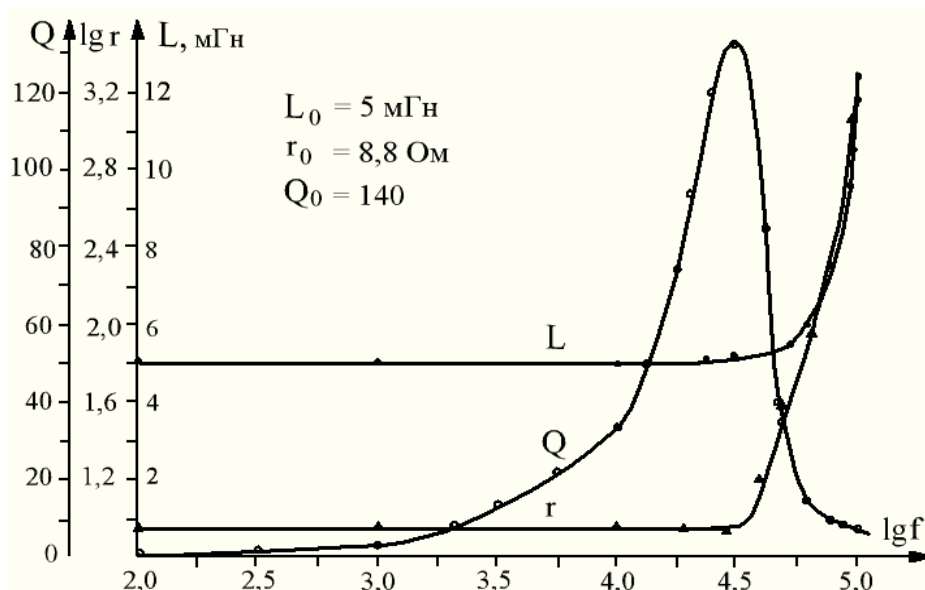


Рисунок 2 – Частотные характеристики индуктивности L , активного сопротивления r и добротности Q образцовой меры индуктивности ($L_0 = 5 \text{ мГн}$)

Выводы. Анализ результатов исследования позволяет сделать следующие выводы о возможностях метода трех вольтметров для измерения составляющих индуктивного импеданса:

- методом трех вольтметров довольно просто измерять составляющие индуктивного импеданса на фиксированных частотах выше промышленных; в диапазоне до 100 кГц относительная погрешность определения индуктивности составляет не более 0,3%, активного сопротивления – 8,7%, что соответствует классу точности использованных измерительных приборов;

- метод позволяет получать информативную характеристику в виде частотных зависимостей активного сопротивления и индуктивности; это дает возможность выбрать диапазон частот, в котором мешающее влияние распределенной емкости незначительное, а также найти оптимальную частоту, при которой добротность индуктивности максимальна;

- дальнейшее повышение точности определения действительных значений составляющих индуктивного импеданса возможно при условии проведения анализа эквивалентной схемы измерительной цепи, учитывающей шунтирующее влияние распределенной емкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерения в электронике: Справочник [Текст] / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Колесник и др. / Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.
2. Круг К. А. Основы электротехники. Теория переменных токов [Текст] / К.А. Круг. – М.-Л.: Государственное энергетическое изд-во, 1946. – 635с.
3. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин. Методы измерений [Текст] / С.А. Спектор. - Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 320с.

МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМУ DUAL ДЛЯ ДОМЕНІВ MPLS В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація. Досліджено розподіл навантаження в каналах MPLS - домену регулярної структури з маршрутами, визначеними на основі класичного варіанта алгоритму DUAL. Проведено модифікацію алгоритму з метою досягнення більш рівномірного завантаження каналів домену, що дозволило зменшити середньоквадратичне відхилення значень інтенсивності трафіку в каналах в 1,64 рази.

Ключові слова: MPLS, мережа, алгоритм DUAL, навантаження каналів.

Вступ. Технологія MPLS сьогодні широко використовується в IP-мережах: WAN та Internet. Вона поєднує технологію віртуальних каналів з функціональністю стеку TCP/IP. Поєднання здійснюється за рахунок того, що один і той же пристрій в мережі, який має назву Label Switch Router (LSR) виконує функції як IP-маршрутизатора, так і комутатора віртуальних каналів. Це дозволяє значно підвищити швидкість передачі інформації [1].

На теперішній час актуальною проблемою в комп'ютерних мережах є розподіл навантаження по каналах зв'язку. В мережах, що працюють під керівництвом IGP протоколів, цей розподіл здійснюється по-різному. Так протоколи RIP і OSPF не підтримують розподіл навантаження по маршрутам з нерівною вартістю. Проте такий механізм є присутнім в протоколі EIGRP, де при створенні таблиць топології використовується алгоритм дифузного оновлення (Diffusing Update Algorithm - DUAL) [2]. Окрім цього, до позитивних якостей алгоритму DUAL слід віднести те, що він запобігає виникненню колових маршрутів і забезпечує швидке відновлення мережі після відказу одного з її елементів чи зміни вартості (метрики) одного з каналів.

Протокол EIGRP і алгоритм DUAL широко використовуються в IP-мережах, створених на основі пристроїв Cisco. Є актуальним модифікувати цей алгоритм для доменів MPLS в комп'ютерних мережах

з метою здійснення розподілу навантаження (load balancing) в каналах. Це дозволить ще більше підвищити швидкість передачі інформації в MPLS-доменах за рахунок розвантаження черг в буферній пам'яті пристроїв LSR, розташованих на маршрутах з високою інтенсивністю трафіка.

Постановка завдання. Метою роботи є модифікація алгоритму дифузного оновлення DUAL для доменів MPLS, а також проведення порівняльного аналізу розподілу навантаження при роботі модифікованого і класичного алгоритмів, а також варіанта загальної доступності каналів на прикладі мережі регулярної топології з ромбічними комірками.

Основна частина. Розглянемо топологію домену MPLS, представлену на рис.1. Вхідні потоки інформації поступають від мереж $NetS_0$, $NetS_1$, $NetS_2$ (IP-сайтів) на $LSR9$, $LSR7$, $LSR4$ відповідно, які виконують роль LER (Label Edge Router) пристроїв. Усі означені потоки (I_0 , I_1 , I_2) мають адресою призначення мережу $NetD$. Регулярна топологія мережі (рис.1) характеризується підвищеною надійністю, бо відказ будь-якого каналу не перериває інформаційний потік до мережі призначення.

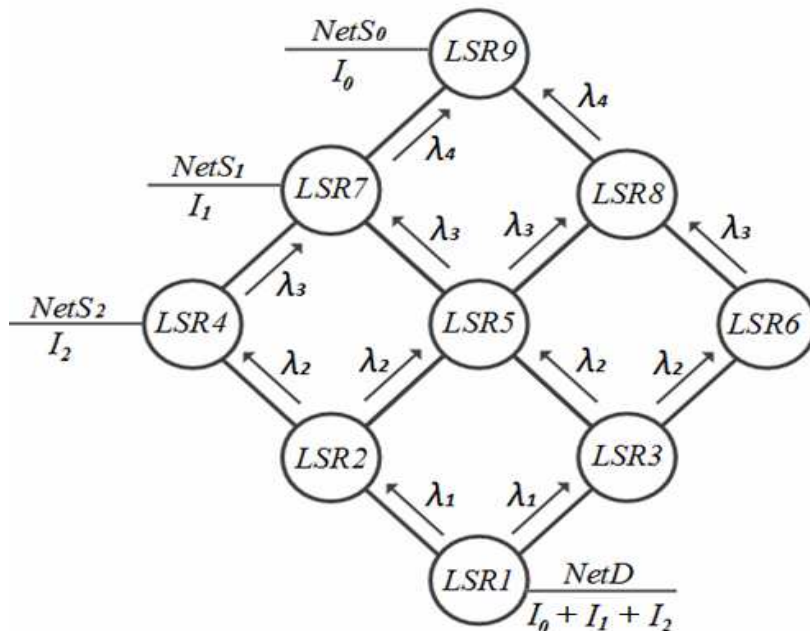


Рисунок 1 – Топологічна схема домену MPLS

Вартість усіх внутрішніх і зовнішніх каналів домену приймемо однаковою $C=100$. Розглянемо процес переходу домену в усталений стан у відповідності до класичного варіанта алгоритму DUAL.

Маршрутизатор *LSR1* завантажується, вводить інформацію про своє безпосереднє з'єднання з мережею *NetD*, установлює відношення суміжності з маршрутизаторами *LSR2* і *LSR3* та передає цим пристроям анонс з інформацією про мережу *NetD*. Програмне забезпечення DUAL вводить записи про маршрути в таблицю топології, перевіряє наявність в таблиці інформації про найкращих продовжувачах (S) та можливих продовжувачах (FS), оновлює значення FD (Feasible Distance – метрика маршруту з найменшою вартістю у локальному маршрутизаторі), перевіряє, які маршрути даної мережі відповідають значенню FD, та підготовлюється до передачі оновлень своїм сусідам. Етапи цього процесу відображені в таблиці топології (табл.1).

Таблиця 1

Таблиця топології, що відповідає різним етапам розповсюдження оновлень

Номер етапу	Маршрутизатор	Сусідній пристрій	Локальна вартість	Анонсована вартість	S/FS	FD
IV	<i>LSR9</i>	<i>LSR8</i>	500	400	S	500
	<i>LSR9</i>	<i>LSR7</i>	500	400	S	500
III	<i>LSR8</i>	<i>LSR6</i>	400	300	S	400
	<i>LSR8</i>	<i>LSR5</i>	400	300	S	400
	<i>LSR7</i>	<i>LSR4</i>	400	300	S	400
	<i>LSR7</i>	<i>LSR5</i>	400	300	S	400
II	<i>LSR6</i>	<i>LSR3</i>	300	200	S	300
	<i>LSR5</i>	<i>LSR3</i>	300	200	S	300
	<i>LSR5</i>	<i>LSR2</i>	300	200	S	300
	<i>LSR4</i>	<i>LSR2</i>	300	200	S	300
I	<i>LSR3</i>	<i>LSR1</i>	200	100	S	200
	<i>LSR2</i>	<i>LSR1</i>	200	100	S	200
	<i>LSR1</i>	Direct connection	100	100	S	100

На першому етапі свої оновлення λ_1 розповсюджує маршрутизатор *LSR1*. В маршрутизаторі *LSR2* послідовником маршруту до мережі *NetD* є *LSR1*, локальна метрика дорівнює 200 (відповідно FD=200), а анонсована метрика (значення метрики в маршрутизаторі *LSR1*) дорівнює 100. Все це у рівній мірі відноситься і до маршрутизатора *LSR3*.

На другому етапі свої оновлення λ_2 розповсюджують маршрутизатори *LSR2* та *LSR3*. Припустимо, що першим це здійснює *LSR2* (ситуація не зміниться, якщо першим свої оновлення направить у мережу маршрутизатор *LSR3*). У відповідності з алгоритмом DUAL оновлення, що передається від *LSR2* до *LSR1* маршрутизатором *LSR1* ігнорується. Після одержання оновлення від *LSR2* маршрутизатор *LSR4* виявляє, що метрика, одержана від *LSR2*, відповідає умові FC [2] ($200 \leq 300$). Тому він (*LSR4*) вводить дані про маршрутизатор *LSR2* у свою таблицю топології. Потім маршрутизатор *LSR4* перевіряє наявність в таблиці топології найкращого маршруту і визначає, що маршрут через *LSR2* є найкращим. Тоді він відмічає *LSR2* в якості свого продовжувача. Аналогічні дії виконує маршрутизатор *LSR6*. Маршрутизатор *LSR5* визначає у якості своїх продовжувачів маршрутизатори *LSR2* та *LSR3*. На третьому етапі оновлення розповсюджують маршрутизатори *LSR4*, *LSR5* та *LSR6*. Окрім показаних на схемі оновлень λ_3 , вони відсилають оновлення своїм сусіднім пристроям, які розташовуються нижче по течії, тобто $LSR4 \rightarrow LSR2$, $LSR5 \rightarrow LSR2$, $LSR5 \rightarrow LSR3$, $LSR6 \rightarrow LSR3$. Проаналізуємо цей випадок на прикладі маршрутизатора *LSR5*. Анонсована метрика *LSR5* є рівною 300. Вона більше локальної метрики маршрутизатора *LSR2*, тому умова FC не виконується і *LSR5* не може бути можливим послідовником *LSR2*. Аналогічно цьому *LSR5* не може бути можливим послідовником *LSR3*. Маршрути через з'єднання $LSR2 \rightarrow LSR5$ і $LSR3 \rightarrow LSR5$, а також $LSR2 \rightarrow LSR4$ і $LSR3 \rightarrow LSR6$ будуть відсутніми в таблицях топології, тому інформаційні потоки через ці з'єднання не проходять.

На четвертому етапі оновлення λ_4 розповсюджують маршрутизатори *LSR7* і *LSR8*. По причинах, указаним вище, з'єднання $LSR5 \rightarrow LSR7$ і $LSR5 \rightarrow LSR8$ в розподілі інформаційних потоків участі не приймають. Таким чином, колові маршрути не утворюються. Після четвертого етапу мережа переходить в сталий стан, топологія якого відображена в табл.1.

В розподіленні інформаційного потоку I_0 , що поступає від мережі $NetS_0$ приймають участь наступні маршрути:

$NetS_0$ - *LSR9*- *LSR8*- *LSR6*- *LSR3*- *LSR1*- $NetD$ - маршрут 1 – M=500,

$NetS_0$ - *LSR9*- *LSR8*- *LSR5*- *LSR3*- *LSR1*- $NetD$ - маршрут 2 – M=500,

$NetS_0$ - $LSR9$ - $LSR8$ - $LSR5$ - $LSR2$ - $LSR1$ - $NetD$ - маршрут 3 – $M=500$,
 $NetS_0$ - $LSR9$ - $LSR7$ - $LSR4$ - $LSR2$ - $LSR1$ - $NetD$ - маршрут 4 – $M=500$,
 $NetS_0$ - $LSR9$ - $LSR7$ - $LSR5$ - $LSR3$ - $LSR1$ - $NetD$ - маршрут 5 – $M=500$,
 $NetS_0$ - $LSR9$ - $LSR7$ - $LSR5$ - $LSR2$ - $LSR1$ - $NetD$ - маршрут 6 – $M=500$.

Усі маршрути мають однакову метрику. Розподіл інтенсивності трафіку I_0 по каналах мережі представлено в табл.2.

В розподіленні інформаційного потоку I_1 , що поступає від мережі $NetS_1$ приймають участь наступні маршрути:

$NetS_1$ - $LSR7$ - $LSR5$ - $LSR3$ - $LSR1$ - $NetD$ - маршрут 1 – $M=400$,
 $NetS_1$ - $LSR7$ - $LSR4$ - $LSR2$ - $LSR1$ - $NetD$ - маршрут 2 – $M=400$,
 $NetS_2$ - $LSR7$ - $LSR5$ - $LSR2$ - $LSR1$ - $NetD$ - маршрут 3 – $M=400$.

Розподіл інтенсивності трафіку I_1 по каналах мережі також представлено в табл.2.

Інформаційний потік I_2 , що поступає від мережі $NetS_2$ має наступний маршрут до мережі $NetD$: $NetS_2$ - $LSR4$ - $LSR2$ - $LSR1$ - $NetD$ - маршрут 1 – $M=300$.

При одночасній подачі інформаційних потоків від мереж $NetS_0$, $NetS_1$ і $NetS_2$ з інтенсивністю трафіків відповідно I_0 , I_1 і I_2 та єдиним префіксом $NetD$ ми одержимо наступне завантаження каналів (табл.2.).

В четвертому стовпчику таблиці приведено навантаження каналів при умові $I_0=I_1=I_2=I$. Відповідний графік показано на рис.2 (крива 1), середньоквадратичне відхилення складає $\sigma_1=0,621I$.

Якщо відмінити механізм формування маршрутів, оснований на алгоритмі DUAL, і скористуватися правилом загальної доступності усіх каналів домену, то з урахуванням розподілу навантаження по маршрутам з нерівною метрикою [3], що використовується в протоколі маршрутизації внутрішнього шлюзу EIGRP [4], одержимо значення $L(I_0=I_1=I_2=I)$, відображені в залежності від номеру каналу кривою 2 на рис.2. Як слідує із наведених графіків (криві 1 і 2), у цьому випадку нерівномірність завантаження каналів суттєво знижується, для порівняння $\sigma_2=0,317I$. Проте тут можливо виникнення небажаних колових маршрутів.

Завантаження каналів домену при використанні класичного
варіанта алгоритму DUAL

№ каналу	Канал	Навантаження, L	$L(I_0=I_1=I_2=I)$
1	LSR9 - LSR7	$0,50I_0$	$0,50I$
2	LSR9 - LSR8	$0,50I_0$	$0,50I$
3	LSR7 - LSR4	$0,25I_0 + 0,50I_1$	$0,75I$
4	LSR8 - LSR6	$0,25I_0$	$0,25I$
5	LSR4 - LSR2	$0,25I_0 + 0,50I_1 + 1,0I_2$	$1,75I$
6	LSR6 - LSR3	$0,25I_0$	$0,25I$
7	LSR7 - LSR5	$0,25I_0 + 0,50I_1$	$0,75I$
8	LSR8 - LSR5	$0,25I_0$	$0,25I$
9	LSR5 - LSR2	$0,25I_0 + 0,25I_1$	$0,50I$
10	LSR5 - LSR3	$0,25I_0 + 0,25I_1$	$0,50I$
11	LSR2 - LSR1	$0,50I_0 + 0,75I_1 + 1,0I_2$	$2,25I$
12	LSR3 - LSR1	$0,50I_0 + 0,25I_1$	$0,75I$

Модифікуємо механізм визначення продовжувачів в алгоритмі DUAL з метою більш рівномірного завантаження каналів у порівнянні з розподілом 1 (рис.2). Доповнення торкається межових маршрутизаторів домену, які приймають інформаційні потоки I_1 і I_2 на свої інтерфейси, тобто LSR7 і LSR4. Для того, щоб потік I_1 міг розгалужуватися в канал, який йде до LSR9, необхідно щоб маршрутизатор LSR9 був об'явлений послідовником маршрутизатора LSR7. Щоб це реалізувати пропонується із локальної метрики LSR9 вчитати вартість каналу, що з'єднує ці маршрутизатори. При цьому в умові FC, яка назначає даний вузол продовжувачем маршруту, якщо його анонсована метрика менше локальної метрики попереднього вузла, знак «менше» пропонується замінити на «менше або дорівнює». Аналогічні дії пропонуються і для каналу LSR4 - LSR7. Таким чином, таблиця топології 1 буде доповнена двома рядками таблиці 3, що відносяться до межових пристроїв домену MPLS. У цьому випадку, відповідно до об'єднаної таблиці топології, інформаційний потік з інтенсивністю I_1 буде розгалужуватися не тільки в канали LSR7 - LSR4, LSR7 - LSR5, але і в LSR7 - LSR9, розподіляючи відповідні інтенсивності згідно з метриками маршрутів. А інформаційний потік I_2 буде додатково розгалужуватися в канали LSR4 - LSR7 і далі в канали LSR7 - LSR5 та LSR7 - LSR9.

Додаткова таблиця топології домену

Маршрутизатор	Сусідній пристрій	Локальна вартість	Анонсована вартість	S/FS	FD
LSR7	LSR9	400	400	S	400
LSR4	LSR7	300	300	S	300

Відповідний розподіл інтенсивностей потоків й навантаження L по каналах домену, одержаний з урахуванням розподілу навантаження по маршрутам з нерівною метрикою, наведено в табл.4.

Таблица 4

Завантаження каналів домену при використанні модифікованого варіанта алгоритму DUAL

№ каналу	Канал	Навантаження, L	$L(I_0=I_1=I_2=I)$
1	LSR9 - LSR7	$0,50I_0 + 0,25I_1 + 0,21I_2$	$0,96I$
2	LSR9 - LSR8	$0,50I_0 + 0,25I_1 + 0,21I_2$	$0,96I$
3	LSR7 - LSR4	$0,25I_0 + 0,375I_1 + 0,30I_2$	$0,92I$
4	LSR8 - LSR6	$0,25I_0 + 0,125I_1 + 0,11I_2$	$0,485I$
5	LSR4- LSR2	$0,25I_0 + 0,375I_1 + 0,49I_2$	$1,115I$
6	LSR6 - LSR3	$0,25I_0 + 0,125I_1 + 0,11I_2$	$0,485I$
7	LSR7 - LSR5	$0,25I_0 + 0,375I_1 + 0,30I_2$	$0,925I$
8	LSR8 - LSR5	$0,25I_0 + 0,125I_1 + 0,11I_2$	$0,485I$
9	LSR5 - LSR2	$0,25I_0 + 0,25I_1 + 0,20I_2$	$0,70I$
10	LSR5 - LSR3	$0,25I_0 + 0,25I_1 + 0,20I_2$	$0,70I$
11	LSR2 - LSR1	$0,50I_0 + 0,625I_1 + 0,69I_2$	$1,815I$
12	LSR3 - LSR1	$0,50I_0 + 0,375I_1 + 0,31I_2$	$1,185I$

Залежність величини навантаження L від номеру каналу графічно представлено на рис.2 у вигляді кривої 3. Середньоквадратичне відхилення результатів, одержаних при використанні модифікованого алгоритму DUAL, складає $\sigma_3=0,378I$. Це декілька перевищує значення $\sigma_2=0,317I$, що відповідає правилу загальної доступності усіх каналів домену, але суттєво менше значення $\sigma_1=0,621I$, яке характеризує варіант використання класичного алгоритму DUAL.

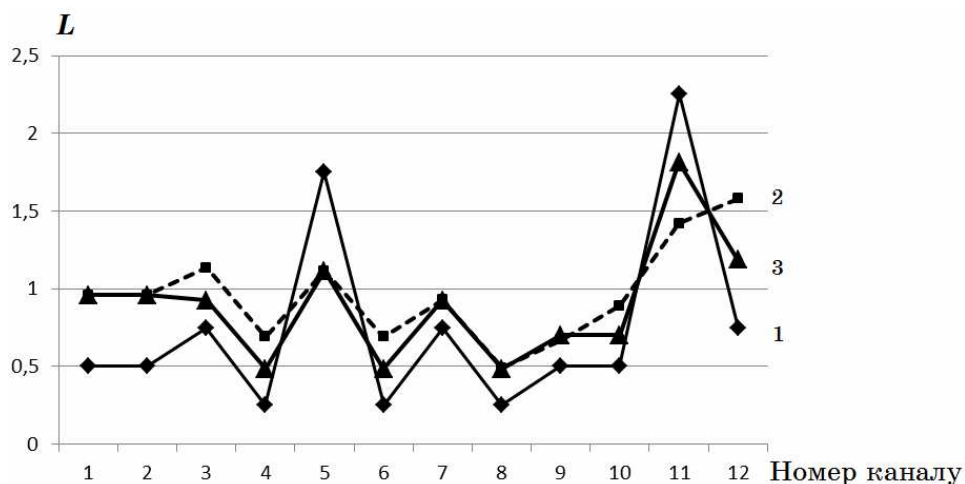


Рисунок 2 - Величини навантаження каналів:

1 – класичний алгоритм DUAL, 2 – загальна доступність каналів,
3 – модифікований алгоритм DUAL

Висновки

1. Досліджено розподіл навантаження в каналах MPLS - домену, що має регулярну структуру і побудований на основі елементарних комірок ромбічної форми з маршрутизаторами, розташованими у вершинах ромбу. Маршрути визначені на основі класичного варіанта алгоритму DUAL, що використовується в протоколі маршрутизації внутрішнього шлюзу EIGRP.

2. Проведено модифікацію алгоритму DUAL з метою досягнення більш рівномірного завантаження каналів домену. В результаті вдалося зменшити середньоквадратичне відхилення значень інтенсивності трафіку в каналах в 1,64 рази.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lue De Ghein. MPLS Fundamentals. – Cisco Press, 2006 – 608 p.
2. Хилл Б. Полный справочник по Cisco. – СПб.: Издательский дом „Вильямс”, 2006. – 1078 с.
3. Khandetskyi V.S., Khandetskyi P.V. Load balancing in autonomous systems of computer networks that use the internal gateway routing protocols // System Technologies. – 2015. – 1'(96). – P.27-34.
4. Jeff Doyle. Routing TCP/IP. – Cisco Press, V.1. – 1998. – 238 p.

УДК 004.932.2

М.Ф. Буланий, О.В. Коваленко, О.В. Хмеленко, Є.Г. Плахтій
**ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ
СПЕКТРІВ ЕЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНІТНОГО
РЕЗОНАНСУ**

Анотація. Розроблено та виготовлено пристрій для автоматичного вимірювання спектрів електронного парамагнітного резонансу за допомогою зовнішнього мікроконтролерного (МК) блоку, який вимірює величину індукції магнітного поля та інтенсивність сигналу ЕПР з можливістю подальшого зберігання та обробки даних на ПК.

Ключові слова: спектрометр ЕПР, мікроконтролер, датчик Хола, магнітне поле, USB-порт, персональний комп'ютер, мікросхема.

Сучасні спектрометри ЕПР характеризуються високою роздільною здатністю та високою чутливістю. Але багато з них мають ручне керування та застарілу систему відображення даних, яка базується на паперових носіях інформації. Крім того, такі спектрометри мають досить незручну систему вимірювання та реєстрації магнітного поля, яка використовує датчик, побудований на використанні явища ЯМР. Така система точно вимірює статичні магнітні поля. При динамічних вимірюваннях вона веде себе нестабільно, що погано відображається на кінцевому результаті.

Виходячи з вище наведеного, нами було розроблено автоматичну систему вимірювання спектрів ЕПР за допомогою зовнішнього мікроконтролерного (МК) блоку, який вимірює величину індукції магнітного поля та інтенсивність сигналу ЕПР з можливістю подальшого зберігання та обробки даних на ПК. Важливою відмінністю створеного пристрою є вимірювання реального значення величини магнітного поля за допомогою термостабілізованого датчика Хола з великою точністю та стабільністю.

Роботу було виконано на спектрометрі ЕПР типа SE/X – 2543. Він характеризується наступними параметрами: чутливість – $5 \cdot 10^{10}$ спін/0.1 мТ; роздільна здатність – 0.01 мТ; діапазон робочих частот – 8.6 ч 9.8 ГГц. Для побудови автоматичного пристрою використано

© Буланий М.Ф., Коваленко О.В., Хмеленко О.В., Плахтій Є.Г., 2016

термостабілізований датчик Хола ПХЭ607118А5, який було підключено до джерела струму, реалізованому на інтегральному стабілізаторі LM317L. Величина струму дорівнює – 119 мА.

Структурна схема підключення розробленого блоку до спектрометра та ПК наведено на рис. 1. Подібні схеми підключення застосовуються в багатьох випадках [1]. Для отримання первинної напруги живлення ± 20 В використовується блок живлення спектрометра ЕПР. Аналогова частина блоку містить стабілізатори напруги. Цифрова частина блоку керує величиною магнітного поля та передає дані оцифрованого сигналу за допомогою ПК. Розроблений пристрій може підключатися до ПК через COM або через USB-порт, або одночасно через обидва порти, але працювати при цьому буде тільки один з них, який вибрано у відповідній програмі [2].

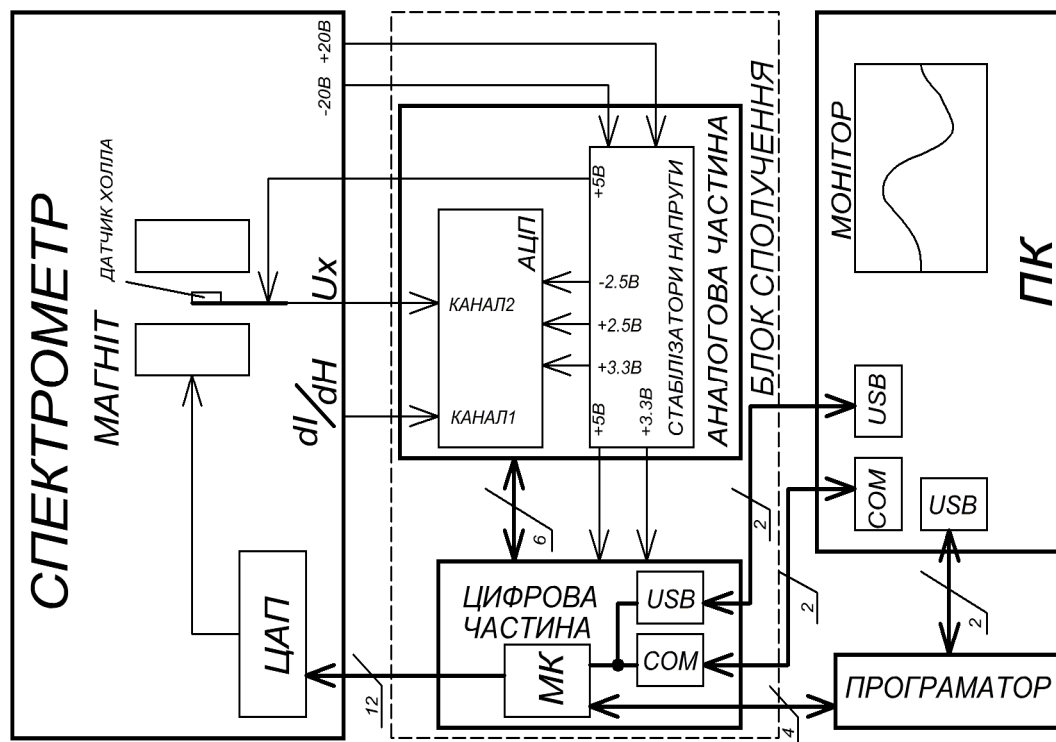


Рисунок 1 – Блок - схема пристрою до спектрометра ЕПР та ПК

Цифрова частина пристрою виконує функцію підключення аналогової частини АЦП до ПК через МК, який в свою чергу підключається до COM-порту ПК через перетворювач сигналів ST232, або до USB-порту через мікросхему FT232BL, яка являє собою віртуальний COM-порт. Мікросхема FT232BL підключена відповідно до стандарт-

ного опису використання [3]. Схема цифрової частини блоку приведено на рис. 2, а аналогової – на рис. 3.

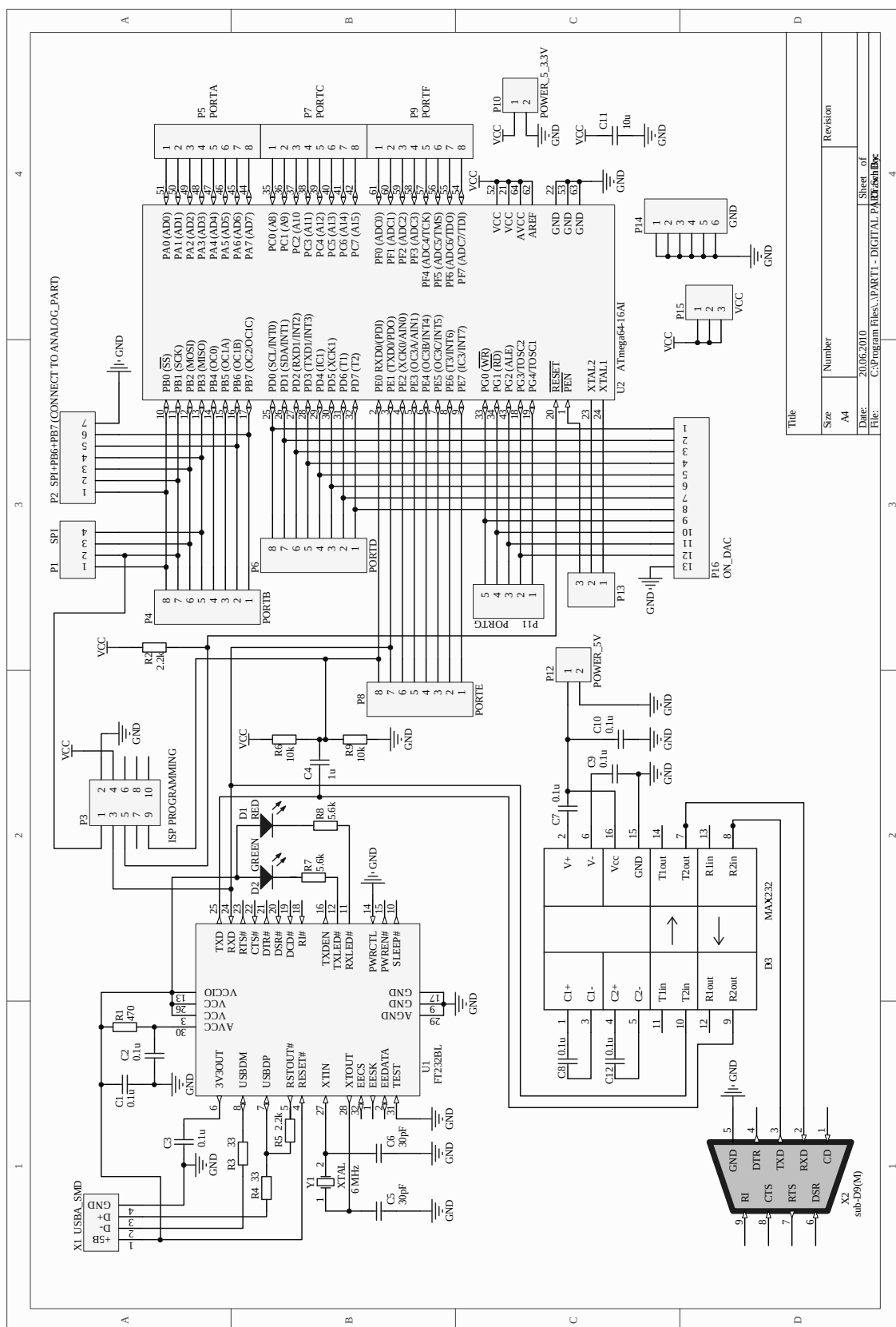


Рисунок 2 – Схема цифрової частини пристрою

Цифрова частина блоку живиться від напруг $+5\text{ В}$ та $+3.3\text{ В}$. Основну функцію в ньому виконує МК АТМega64, який містить в собі багато портів вводу/виводу [4]. Це гарантує можливість підключення при потребі додаткової периферії. В даному пристрої використовуються його апаратні RS-232 і SPI-інтерфейси, RS-232 для підключення до ПК через мікросхему ST232, SPI – для підключення до АЦП. Всі виводи портів вводу-виводу виведені на роз'єми для спрощення підключення додаткової периферії в разі необхідності.

Розроблений пристрій містить стабілізатори напруги: $\pm 15\text{ В}$ для живлення операційних підсилювачів, які в свою чергу включені по схемі джерел опорних напруг $+2\text{ ч }3\text{ В}$, $-2\text{ ч }3\text{ В}$; $+5\text{ В}$, $+3.3\text{ В}$. Стабілізатори напруг використано для живлення аналогової та цифрової частини пристрою.

На платі пристрою встановлені декілька перемичок для конфігурування АЦП, а також присутні дві кнопки: RESET – скидання АЦП та RDY – для імітації сигналу готовності АЦП для наступного перетворення. Використаний АЦП AD7731 має найбільшу розрядність на сьогоднішній день: теоретична розрядність становить 24 біта (реально 20-21 біта). Це дає можливість, при діапазоні вхідної напруги $0\text{ ч }5\text{ В}$, вимірювати значення напруги з точністю 1 мкВ . АЦП містить в собі декілька регістрів для його внутрішньої конфігурації. Один із регістрів відповідає за коефіцієнт підсилення вхідного сигналу, який можна запрограмувати рівним 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 [4], тобто можна звужувати діапазон вимірювання вхідної напруги до $\pm 20\text{ мВ}$. В процесі випробувань пристрою виявилось, що для досягнення більшої ефективної розрядності краще використовувати підсилювач, який знаходиться в АЦП. Для вимірювання сигналів від'ємної полярності треба подавати двополярне живлення. В складі АЦП міститься також регістр, який задає швидкість аналогово-цифрового перетворювача. При зміні швидкості перетворення змінюється і полоса пропускання фільтра, який стоїть на вході АЦП. Швидкість перетворення можна змінювати в діапазоні $50\text{ Гц ч }6.4\text{ кГц}$. Плата розведена так, що на роз'єми виведені всі аналогові входи, з яких 3 повністю диференційні. Ця конфігурація входів також програмується.

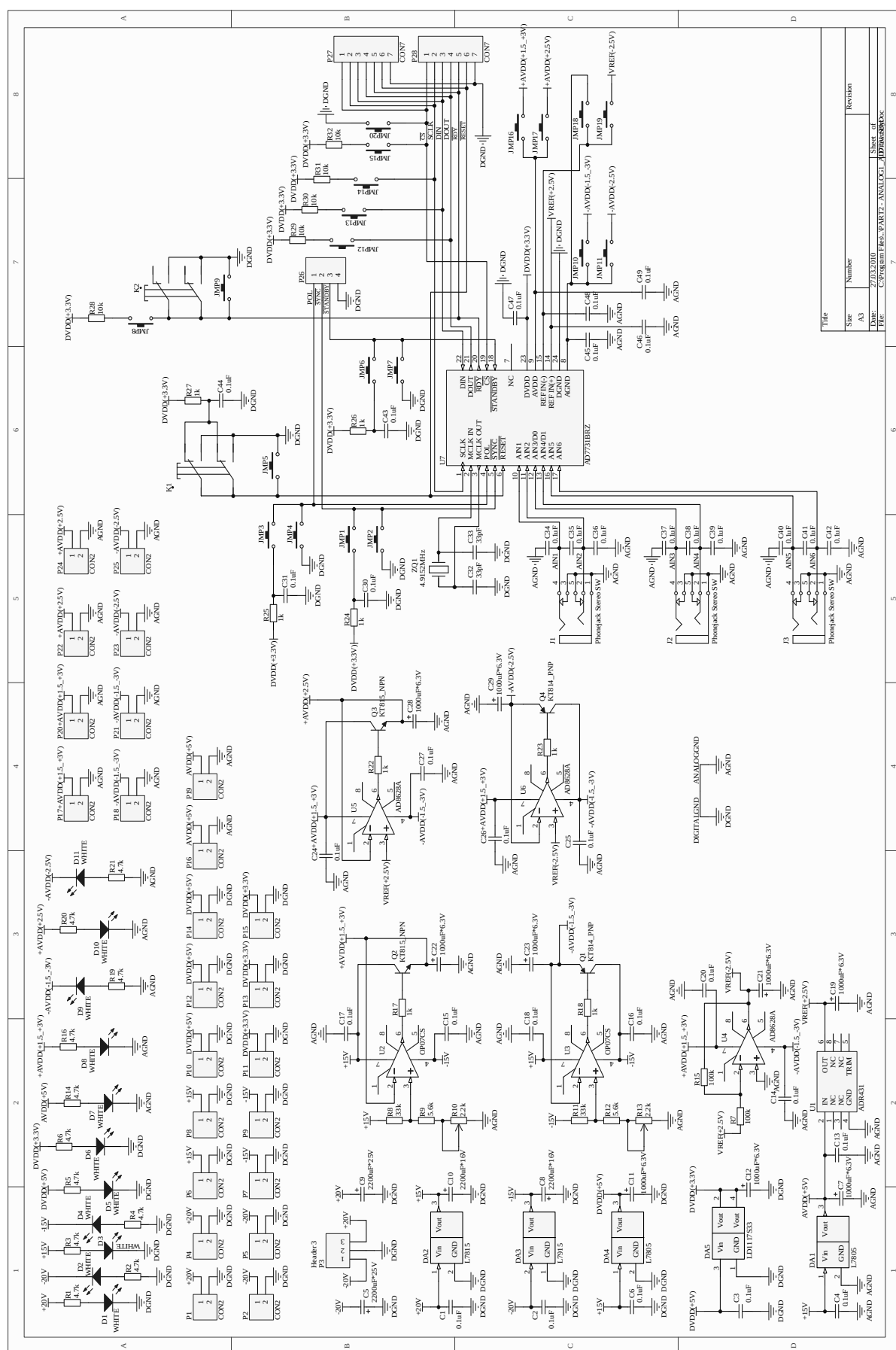


Рисунок 3 – Схема аналоговой части прибора

На платі аналогової частини пристрою аналогова і цифрова «земля» розділені і з'єднуються перемичкою тільки в одному місці.

Основна роль керування в пристрої належить МК АТМega64, який приймає команду з ПК і потім відповідно подає команду на АЦП. Основні команди дві: «запуск» і «зупинка» перетворення. Коли на ПК натиснули кнопку «запуск», МК починає конфігурувати АЦП на перетворення, зчитує з нього цифровий код і передає цей цифровий код на ПК, де відображається графік сигналу ЕПР. В процесі перетворення МК виставляє магнітне поле і після кожного аналогово-цифрового перетворення нарощує значення магнітного поля на одиницю, потім знову вимірюється напруга з датчика Холу. У результаті вимірювання АЦП відбувається по 2 каналам: один канал вимірює інтенсивність поглинання НВЧ енергії зразком, а другий - величину магнітного поля.

Таким чином, розроблено та виготовлено пристрій, який з'єднує спектрометр ЕПР з ПК. Він виконує функції керування та вимірювання магнітного поля з точністю 5 мкТл та вимірювання сигналу ЕПР. Розроблено дві програми: одна на мові ASSEMBLER на для МК, друга на мові VISUAL C++ 6.0 для ПК. Програми керують роботою спектрометра ЕПР, вимірюють значення магнітного поля, передають інформацію на ПК, що дозволяє її накопичувати та обробляти.

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Пей Ан. Сопряжение ПК с внешними устройствами. М.: ДМК Пресс, 2001. – 320 с.
- 2.Уолт Кестер. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов. – М. Техносфера, 2010. – 328 с.
- 3.Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы ATMEL – М.: ИП РадиоСофт, 2002 – 176 с.
- 4.Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «ATMEL» М.: Изд.дом «Додэка-XXI», 2004. 560 с.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РОЗПОДІЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ КАФЕДРИ

Анотація. У даній роботі міститься опис прикладного застосування, за допомогою якого можна проводити розподіл навчального навантаження між викладачами кафедри.

Ключові слова: Навчальний план, база даних, автоматизована система, навчальне навантаження, таблиця, форма, СУБД, Access.

Вступ. Одними з найважливіших завдань, що стоять перед підрозділами ВНЗ є розрахунок навчального навантаження кафедри на навчальний рік та його розподіл між навчально-педагогічними працівниками (НПП). На базі цього складаються розклад навчальних занять, графіки виконання курсових та дипломних робіт, графіки проведення консультацій, плануються інші складові навчального процесу. При традиційних способах виконання таких задач розподіл навантаження є складною рутинною працею з великою кількістю розрахунків та перевірок. Навіть застосування офісних комп'ютерних засобів автоматизації (калькуляторів, табличних процесорів, тощо) не повністю усуває усі проблеми.

Перед початком кожного навчального року на кафедру надходять робочі навчальні плани, у яких вказується, на якому курсі читається дисципліна й по якій спеціальності, кількість груп на курсі; кількість тижнів, загальна кількість годин лекцій, лабораторних і практичних робіт, заліків, іспитів, курсових робіт, індивідуальних занять і т.д. Завідувач кафедри та його замісник з навчальної роботи на підставі цих даних розподіляють навантаження між НПП кафедри. Це є одним з найвідповідальніших і досить трудомістких їх обов'язків, особливо якщо на кафедрі викладається велика кількість дисциплін, а кадровий склад – досить численний і динамічний.

Тому для удосконалювання організаційної й навчальної діяльності ВНЗ актуальною постає задача розробки й впровадження

відповідних автоматизованих технологій. Із цією метою й поставлена задача розробки комп'ютеризованої системи розподілу навчального навантаження кафедри, завдяки якій, процес розподілу має спрощуватися, буде значно скорочено часовий термін його виконання, підвищиться достовірність інформації.

Постановка задачі. Було проведено аналіз деяких існуючих споріднених систем управління навчальним процесом у ВНЗ [1,2]. По-перше, майже всі вони комерційні. По-друге, за своїм обсягом та можливостями, у більшості випадків, вони масштабні та багатофункціональні і використовуються для автоматизації планування усього навчального процесу ВНЗ. Їх експлуатація також ускладнюється тим, що вони надто складні для розуміння і вимагають від оператора спеціальної підготовки. Система ж, яку планується створити, покликана автоматизувати виключно тільки розподіл навчального навантаження на кафедрі, адже його розрахунок, (форма №1), у нашому випадку, здійснюється у навчальному відділі за допомогою табличного процесора MS Excel, базуючись на робочих навчальних планах.

Окреслимо вимоги до системи та основні завдання, котрі необхідно вирішити:

- обрати необхідне інструментальне програмне забезпечення та СУБД;
- розробити структуру автоматизованої системи управління;
- розробити структуру бази даних та створити її;
- розробити модуль програмного забезпечення для розподілу навантаження між викладачами кафедри;
- система повинна мати дружній інтерфейс користувача, бути зрозумілою та зручною у використанні.

Загальний опис системи. Оскільки основними вхідними даними для автоматизованої системи розподілення навчального навантаження є відповідна таблиця розрахунків у форматі MS Excel, в якості СУБД було обрано MS Access, яка досить легко може здійснювати імпорт інформації з даними навантаження у базу даних. Зазначимо, що це також надає можливість оперативного корегування цієї інформації безпосередньо автоматизованою системою. СУБД MS Access органічно пов'язана і взаємодіє з мовою програмування Visual

Basic, тому для створення модуля програмного забезпечення для розподілу навантаження, було обрано саме її.

Для створення бази даних було створено дев'ять таблиць. Вони зберігають дані, які використовуються при роботі системи. До такої інформації відноситься перелік дисциплін, які викладаються на кафедрі, викладацький склад, звання та посади викладачів, кількість годин аудиторного навантаження, тощо. Схему даних, яка відображає зв'язки створених таблиць зображено на рис. 1.

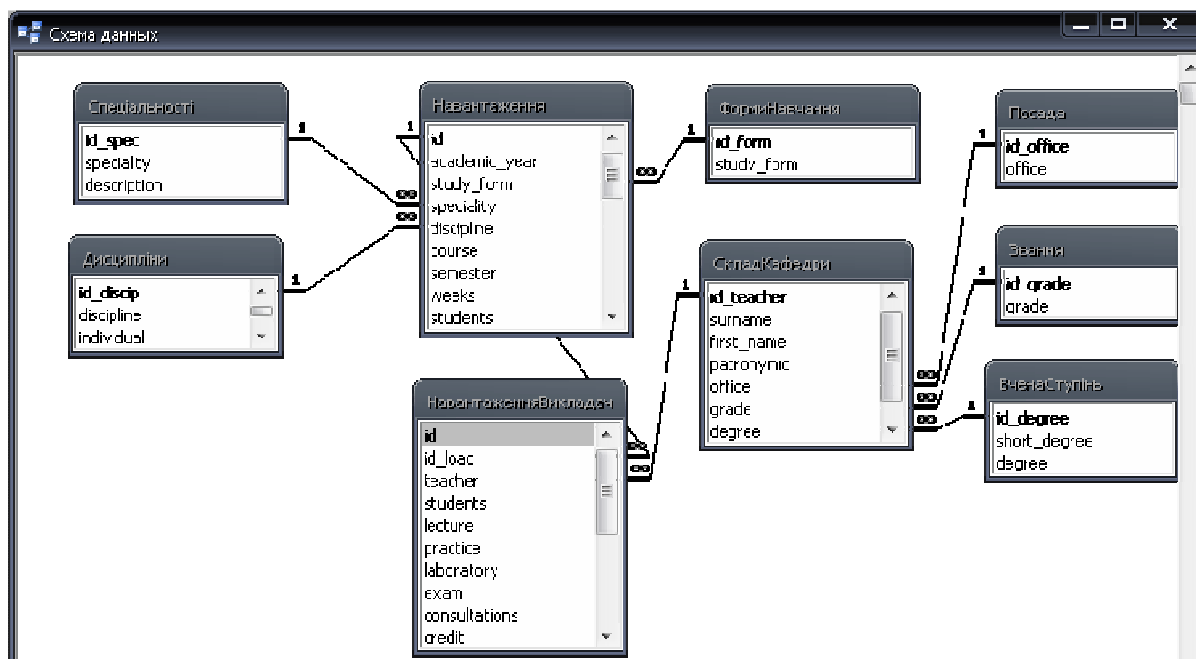


Рисунок 1 - Структура бази даних

Форма “НавантаженняВикладачів” є основною при розподілі навчального навантаження. Розглянемо її коротко. Дана форма використовується для розподілу дисциплін між викладачами кафедри. У ній мається список, що випадає з прізвищем НПП. Реалізовано також можливість вибору навчального року. Крім того у формі є списки, що випадають – “форма навчання”, “номер спеціальності” та “найменування дисципліни”.

Після того як буде вибрано дисципліну, у відповідних полях з’являється кількість годин навчального навантаження даної дисципліни та інша допоміжна інформація, а саме – курс, семестр, контингент студентів та ін. Для того щоб постійно бачити кількість годин навчального навантаження, що вже розподілено, унизу форми є сумуючий рядок “Всього”, який відображає загальне навантаження НПП.

Завдяки цій ж формі ми можемо перейти до форми “Дисципліни”. Для цього потрібно двічі клацнути мишкою на назві дисципліни, яка виділена фіолетовим кольором. Після цього з’явиться форма, в якій можна редагувати назву дисципліни та коефіцієнти, які використовуються при розрахунках навантаження по індивідуальним заняттям та курсовим роботам.

При запуску прикладного застосування з’являється його головна форма (рис. 2), за допомогою якої можна досить легко та зручно використовувати весь функціонал, який вона має.

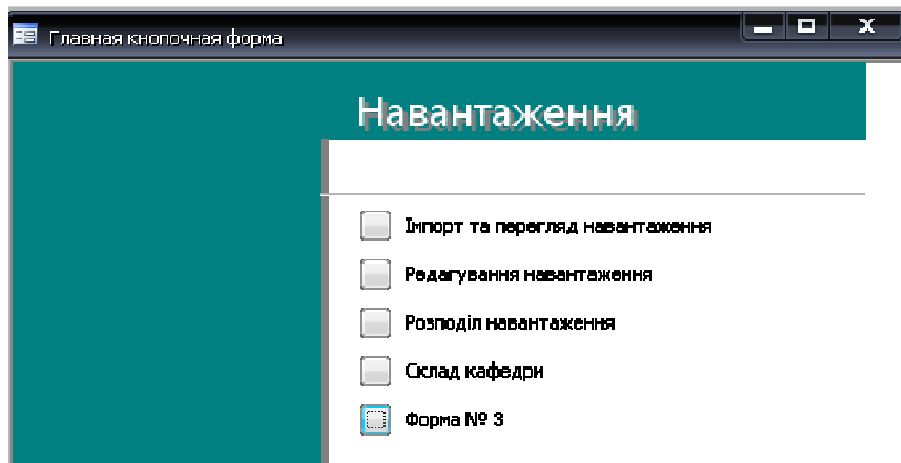


Рисунок 2 - Головна форма прикладного застосування

При натисканні на першу кнопку на головній формі виводиться таблиця з розрахунком навчального навантаження кафедри. За допомогою кнопки із зображенням піктограми MS Excel зліва внизу цієї форми можна імпортувати дані про навантаження з файлу, який надходить з навчального відділу. Після натискання на вказану кнопку здійснюється запит про навчальний рік, номер якого потрібно ввести.

Для перегляду даних щодо навчального навантаження інших навчальних років потрібно вибрати їх у списку, що випадає (знаходиться зверху форми).

При подвійному кліку на назві дисципліни в списку в основній частині форми з’явиться допоміжна форма, де можна відредагувати коефіцієнт індивідуальних занять та назву дисципліни. Після подвійного кліку на даних годин по лекціях, практичних заняттях, лабораторних роботах, екзаменах, заліках, індивідуальній роботі та загальному навантаженні обраної дисципліни теж з’являється

допоміжна форма, де можна відредагувати дані з усіх видів навантаження.

При роботі з цією формою спочатку потрібно вибрати навчальний рік та семестр. Після цього в списку справа з'являється список дисциплін обраного семестру. При кліку на рядку з дисципліною в цьому списку в основній частині форми з'являється інформація про розподіл навантаження цієї дисципліни. Якщо дисципліна ще не розподілена, то для початку роботи з нею необхідно двічі клацнути на ній – навантаження по ній буде перенесено в рядок в основній частині форми. Після редагування цих даних (обов'язково потрібно обрати викладача), якщо необхідно додати наступного викладача, потрібно натиснути на клавіатурі клавішу Insert. При цьому в новому рядку з'явиться інформація по навантаженню, яка ще залишилась не розділеною між викладачами.

Якщо є потреба подивитись поточний обсяг годин НПП, якому щойно додали навантаження, необхідно натиснути на клавіатурі клавішу F1 – ця інформація оновиться внизу форми.

Також реалізовано можливості складання форми № 3, “Розподіл навчального навантаження між НПП кафедри” та її роздруку.

Висновок. Таким чином, у роботі описано систему автоматизації процесу розподілу навчального навантаження між НПП кафедри, яку протестовано, налагоджено та впроваджено на кафедрі ЕОМ ДНУ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Амелькович Ю.П. Уральський соціально-економічний інститут (УСЭИ), г. Челябинск. “Сетевые технологии в управлении учебным процессом учебного заведения” – Конференция “ИТН-99”.
2. Петрова И.Ю., Лазутнина О.А., Щербинина О.В. Автоматизация планирования учебного процесса на основании учебных планов. Астраханский государственный технический университет (АГТУ), г. Астрахань – конференция “ИТН-2002”.

Л.Г. Ахметшина, К.А. Ахметшин

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ КАРТЫ КОХОНЕНА

Аннотация. Рассмотрены возможности метода восстановления пропусков пространственных данных, основанного на использовании алгоритма нечеткой кластеризации и нейронной сети Кохонена. Представлены результаты проверки метода на модельных и реальных данных.

Ключевые слова: нечеткая кластеризация, самоорганизующаяся карта Кохонена, пространственные данные, интерполяция, неравномерная сетка.

Введение. При решении задач анализа по конечному набору имеющихся экспериментальных данных, определенных на неравномерной сетке (например, это данные экологического мониторинга, результаты георазведки, физические характеристики земной поверхности или атмосферы и т. д.), обычно необходимо восстановление неопределенной информации – получение прогнозных значений в дополнительных точках, в частности, на полном координатном пространстве заданного масштаба. В случаях, когда плотность пробелов высока и данных немного, что исключает возможность использования статистических характеристик, современный подход, основанный на нейро-фаззи технологиях, сочетающий возможности обучаемости нейронных сетей с прозрачностью и интерпретируемостью систем нечеткого вывода, обладает преимуществом перед детерминистическими моделями [1, 2]. В работе [3] рассмотрены информационные возможности метода двумерного проецирования нечетких кластеров, предназначенного для интерполяции пространственных данных, заданных на неравномерной сетке, который основан на использовании метода нечеткой кластеризации. Получаемая модель отражает обобщенное представление о реальной поверхности, поскольку решение обычно соответствует

локальному, а не глобальному максимуму и обеспечивает достаточно хорошее согласование с данными во внешних областях. Существует множество факторов, влияющих на точность получаемого результата, одним из которых является способ выполнения этапов фаззификации и дефаззификации, для которого на сегодня не существует теоретически обоснованного правила выбора.

Целью данной работы является повышение точности модели, получаемой по неравномерно распределенным результатам эксперимента методом двумерного проецирования нечетких кластеров, за счет использования для вычисления значений функций принадлежности в дополнительных точках поверхности с применением самоорганизующейся нейронной сети Кохонена (СКК).

Основная часть. Постановка задачи представляется в следующем виде: существует набор пространственных данных (сеть мониторинга): X , Y – координаты, Z_i ($i=1, \dots, k$) – зависящие от них переменные (целевые значения), интерполяцию которого необходимо произвести, $k+2$ – общее количество информативных признаков, N – ограниченное количество точек измерения (что не допускает использование статистического подхода). Требуется построить модель, которая обеспечивает получение прогнозных значений в дополнительных точках, в частности, для полного координатного пространства. В работе [4] для решения задачи интерполяции пространственных данных рассматривалась СКК, которая посредством процесса, именуемого самоорганизацией, образует отображение многомерной информации на двумерную плоскость и обладает прогнозирующими свойствами [5].

СКК состоит из одного слоя, имеет l нейронов, соединенных в некоторую структуру. В двумерном случае эта структура представляет собой триангуляцию Делоне (рис. 1 а) $T = \{T^1, \dots, T^M\}$, где $T^k = \{T_1^k, T_2^k, T_3^k\}$, $k = \overline{1, M}$, M – количество треугольников, T_p^k – номер нейрона, $p = \overline{1, 3}$. Частными случаями является прямоугольная или гексагональная решетки (рис. 1 б, в) размером $l_x \times l_y = l$. Каждый вход соединен со всеми нейронами сети с весовыми коэффициентами $W = (w_{ik})_{i=1, l}^{k=1, n}$. Вектор W_i , составленный из столбцов матрицы W , определяет положение i -ого нейрона в n -мерном евклидовом простран-

ве. Для случаев прямоугольной или гексагональной решетки координаты выходных нейронов определяются двумя переменными, и матрицей весовых коэффициентов $W = (w_{ijk})_{i=\overline{1,l_1}, j=\overline{1,l_2}}^{k=\overline{1,n}}$, причем вектор $W_{ij} = (w_{ij}^1, \dots, w_{ij}^n)$ определяет положение (i, j) -ого нейрона в n -мерном евклидовом пространстве, количество l_x, l_y задано изначально. Эти параметры непосредственно влияют на точность аппроксимации данных СКК и время её обучения.

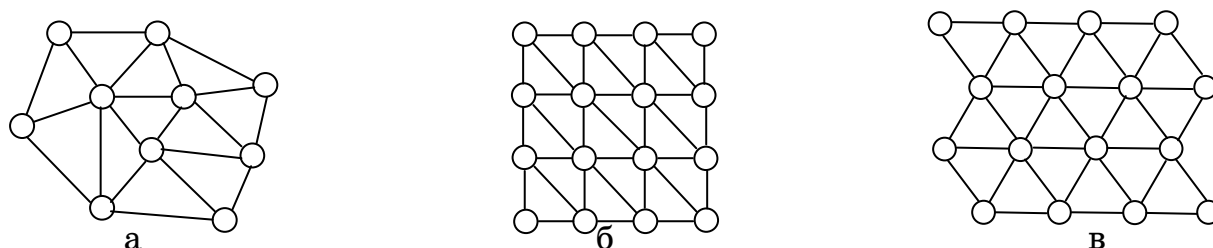


Рисунок 1 – Структуры двумерной СКК:

а – триангуляция Делоне, б – прямоугольная, в – гексагональная

В начале обучения значения матрицы $\tilde{W}$ формируются случайным образом, обычно равномерно на области определения. Для прямоугольной и гексагональной СКК матрица $\tilde{W} = (w_{ijk})_{i=\overline{1,l_1}, j=\overline{1,l_2}}^{k=\overline{1,2}}$ определяется соответственно по формулам

$$\tilde{w}_{ij1} = i, \quad \tilde{w}_{ij2} = j, \quad i = \overline{1, l_1}, \quad j = \overline{1, l_2}, \quad (1)$$

$$\tilde{w}_{ij1} = \begin{cases} i, & \text{при } j \neq 2 \\ i + 0,5 & \text{при } j = 2 \end{cases}, \quad \tilde{w}_{ij2} = j, \quad i = \overline{1, l_1}, \quad j = \overline{1, l_2}. \quad (2)$$

Для прямоугольной СКК триангуляция Делоне задается выражениями

$$\begin{cases} T^{2((j-1)l_1+i)} = \{(i, j), (i, j+1), (i+1, j)\}, \\ T^{2((j-1)l_1+i)+1} = \{(i+1, j+1), (i, j+1), (i+1, j)\}, \end{cases} \quad i = \overline{1, l_1-1}, \quad j = \overline{1, l_2-1} \quad (3)$$

Для гексагональной СКК триангуляция Делоне следующим образом

$$\begin{cases} \begin{cases} T^{2((j-1)l_2+i)} = \{(i, j), (i, j+1), (i+1, j+1)\}, \\ T^{2((j-1)l_2+i)+1} = \{(i, j), (i+1, j), (i+1, j+1)\}, \end{cases} & \text{при } j \neq 2 \\ \begin{cases} T^{2((j-1)l_2+i)} = \{(i, j), (i, j+1), (i+1, j)\}, \\ T^{2((j-1)l_2+i)+1} = \{(i, j+1), (i+1, j), (i+1, j+1)\}, \end{cases} & \text{при } j = 2 \end{cases} \quad (4)$$

$$i = \overline{1, l_1 - 1}, j = \overline{1, l_2 - 1}.$$

Для того, чтобы СКК не имела топографических дефектов и аппроксимировала многомерные данные за минимальное число итераций, нейроны равномерно располагаются на плоскости главных компонент внутри квадрата с вершинами

$$\{\{\alpha_{\min}, \beta_{\min}\}, \{\alpha_{\max}, \beta_{\min}\}, \{\alpha_{\max}, \beta_{\max}\}, \{\alpha_{\min}, \beta_{\max}\}\}, \quad (5)$$

где $\alpha_{\min} = \min_{c=1, N}(A^1, X^c - A^0)$, $\alpha_{\max} = \max_{c=1, N}(A^1, X^c - A^0)$,

$$\beta_{\min} = \min_{c=1, N}(A^2, X^c - A^1(A^1, X^c - A^0)), \beta_{\max} = \max_{c=1, N}(A^2, X^c - A^1(A^1, X^c - A^0)).$$

Таким образом, для двумерной СКК

$$W_i = A^0 + (\alpha_{\min} + \tilde{w}_{i1}(\alpha_{\max} - \alpha_{\min}))A^1 + (\beta_{\min} + \tilde{w}_{i2}(\beta_{\max} - \beta_{\min}))A^2, \quad i = \overline{1, l} \quad (6)$$

Для прямоугольной и гексагональной СКК

$$W_{ij} = A^0 + \left(\alpha_{\min} + \frac{\tilde{w}_{ij1} - 1}{l_1 - 1}(\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) \right) A^1 + \left(\beta_{\min} + \frac{\tilde{w}_{ij2} - 1}{l_2 - 1}(\beta_{\max} - \beta_{\min}) \right) A^2, \quad (7)$$

$$i = \overline{1, l_1}, \quad j = \overline{1, l_2}.$$

В процессе обучения форма сети претерпевает существенное искажение (рис. 2), что затрудняет восстановление данных для равномерной координатной сетки.

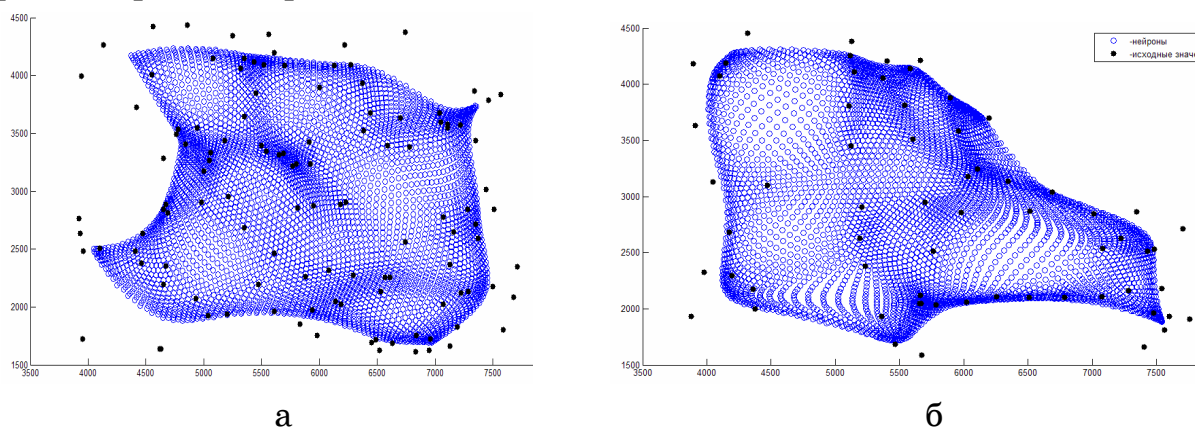


Рисунок 2 – Структура двумерной СКК после обучения и координаты исходных данных: а – генерированы случайным образом; б – положение точек измерений

Для достижения цели работы по восстановлению неизвестных целевых значений для всего координатного пространства на основе многомерных неравномерно распределенных экспериментальных значений предлагается следующий алгоритм.

1. Выполнение нечеткой кластеризации исходных данных на c классов. Результатом являются значения центров кластеров $m_1, m_2, \dots, m_c$ и функции принадлежности μ_{ij}^c каждого образца с координатами x_i, y_j к ним.

2. Определение функций принадлежности отдельно для входных и целевых параметров (в практических задачах требуется определить целевое значение z_{ij} , при заданном значении координат x_i, y_j). Данная цель достигается построением проекций $m_i^{X_j}$ центров кластеров на координатную плоскость, где $j=1, \dots, n$, $i=1, \dots, c$, которые рассматриваются в качестве «существенных» точек, являющимися центрами функций принадлежности μ_{ij}^X каждого из классов.

3. Использование СКК, для интерполяции значений функций принадлежности в дополнительных точках с координатами, соответствующих положению нейронов. Входными значениями сети являются результаты, полученные в п.1, причем значения функций принадлежности для проекции точек центров кластеров $m_1, m_2, \dots, m_c$ на координатную плоскость принимается равной 1.

4. Вычисление выхода нечеткой модели по значениям функций принадлежности для каждой точки координатного пространства поверхности

$$z(x_j) = \frac{\sum_{i=1}^c m_i^Y \cdot \mu_i^X(x_j)}{\sum_{i=1}^c \mu_i^X(x_j)} \quad (8)$$

Экспериментальные результаты. На рис. 3 а представлено модельное изображение и точки, которые генерировались случайным образом, на основе которых выполнялось восстановление неизвестных значений (в данном случае яркости) для всех координат. Количество входных данных в ходе эксперимента варьировалось в пределах 1-5 % от общего числа пикселей исходного изображения.

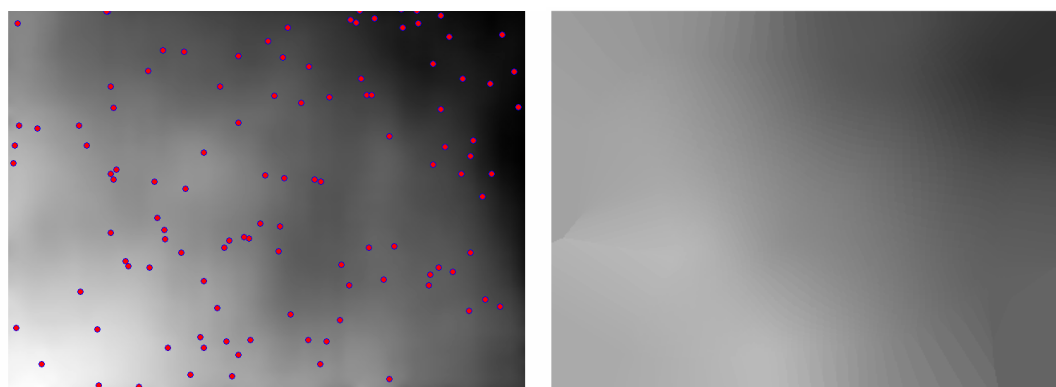
Число нейронов СКК определяется шагом дискретизации реальных исходных данных и диапазоном их изменения: $dx = \text{round}((\max(x) - \min(x))/h)$; $dy = \text{round}((\max(y) - \min(y))/h)$, где x, y – пространственные координаты, h – величина шага, зависящая от

масштаба измерения. На точность конечного результата существенное влияние оказывает количество исходных данных N , а также такие параметры алгоритма, как вид и значение функции соседства, количество кластеров при нечеткой кластеризации и нейронов СКК.

На рис. 3 б приведен результат восстановления яркости, который был получен при использовании следующих значений параметров алгоритма: СКК с прямоугольной структурой, гауссовой функцией соседства, радиус соседства изменялся в ходе обучения от 3-х до 1, количество нейронов сети 78×57 , количество кластеров при нечеткой кластеризации выбиралось в зависимости от количества исходных данных и при малом их значении $c = N$.

Полученный результат свидетельствует о достаточно хорошем качественном согласовании модели, что позволяет применять данный подход при оценочном анализе и прогнозе пространственных данных.

На рис. 4 а показан вид проекций двух произвольных функций принадлежности построенных с использованием СКК, на основе которых производилось восстановление неопределенных значений целевого параметра в соответствии с выражением (8). На рис. 4 б представлен результат моделирования поверхности залегания угольного слоя по сведениям из 57 разведочных скважин, месторасположение которых обозначены точками, минимальный шаг по координатам для них составляет значение 5.



а

б

Рисунок 3 - Модельные данные: а – расположение точек, используемых при интерполяции; б – восстановленное изображение

Выводы. Особенностью предложенного алгоритма является создание модели достаточной точности для проведения оценочного анализа и прогноза пространственных данных на основе неравномерно распределенных результатов измерений и возможность восстановления целевых значений для координатной плоскости различного масштаба.

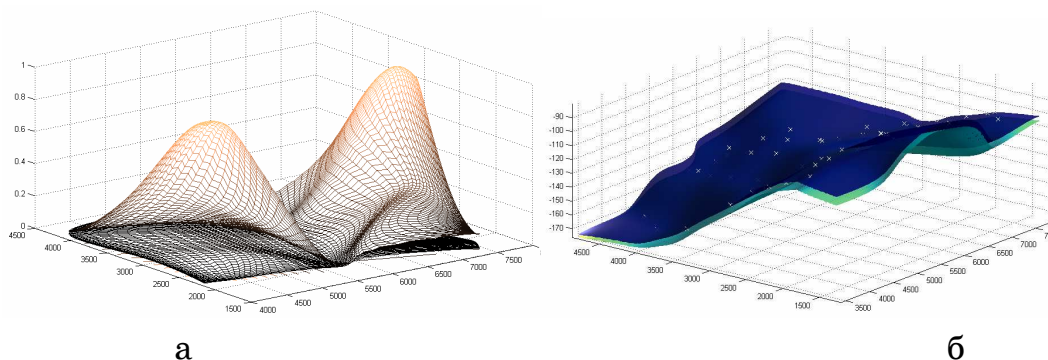


Рисунок 4 - Восстановление реальных данных:

а – проекции функций принадлежности на координатную ось;
б – поверхность угольного пласта

ЛИТЕРАТУРА

1. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта / Рутковский Л. – М., 2010. – 600 с.]
2. А. Егоров, Л. Ахметшина. Оптимизация яркости изображений на основе нейро-фаззи технологий / Монография. Изд. Lambert. – 2015. –139 с.
3. Ахметшина Л.Г. Интерполяция пространственных данных методом двумерного проецирования нечетких кластеров / Ахметшина Л.Г., Т.С. Ямнич // Искусственный интеллект, –2010. № 3. – С. – 433 –438.
4. Метод интерполяции неравномерных пространственных данных на основе сети Кохонена // Л.Г.Ахметшина, А.М.Ахметшин, И.М.Удовик Системні технології, –2013, –Дніпропетровськ.– Вип.1–(84).
5. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты / Кохонен Т. [пер. 3-го англ. изд. В.Н. Агеева под ред. Ю.В. Тюменцева]. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 665 с.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ТЕПЛООБМІНУ РІДИНИ НА ГІДРОДИНАМІЧЕСКІ ПОЧАТКОВІЙ ДІЛЯНЦІ

Анотація. Знайдено температурне поле рідини, яка обертається з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ на гідродинамічеські початковій ділянці у вигляді збіжних ортогональних рядів по функціям Бесселя і Фур'є.

Ключові слова: інтегральні перетворення Ханкеля, Лапласа, Фур'є, число Пекле, функція Бесселя, трансцендентне рівняння

Вступ. Як показує огляд літератури теплообмін в рідинах, які обертаються, вивчений в даний час ще недостатньо [1,2]. Показано, що чисельні методи дослідження нестационарних неосесиметричних задач теплообміну рідин, які обертаються, є не завжди ефективними, якщо мова йде про обчислення при великих швидкостях обертання [3].

Так доводиться [3], що умови стійкості обчислень в методі кінцевих елементів і методі кінцевих різниць, що застосовуються до розрахунку нестационарних неосесиметричних температурних полів рідин, які обертаються, визначаються аналогічними характеристиками. Ці умови мають вигляд:

$$1 - 2 \frac{\Delta F_o}{\Delta \varphi^2} \geq 0 \text{ і } \frac{1}{\Delta \varphi} - \frac{Pd}{2} \geq 0,$$

де F_o – критерій Фур'є, Pd – критерій Предводітелева.

Якщо $Pd = 10^5$, що відповідає кутовій швидкості обертання металевого циліндра $\omega = 1,671 \text{ сек}^{-1}$ радіусом 100 мм, змінні $\Delta \varphi$ і ΔF_o повинні бути підпорядковані таким умовам:

$$\Delta \varphi \leq 2 \cdot 10^{-5} \text{ і } \Delta F_o \leq 2 \cdot 10^{-10}.$$

Для рівномірно охолоджуваного циліндра за умови $Bi = 5$ (Bi – критерій Біо) час необхідний для того, щоб температура досягла 90%

стаціонарного стану, дорівнює $Fo \approx 0.025$. Це означає, що потрібно принаймні здійснити $1.3 \cdot 10^8$ операцій по часу для того, щоб було досягнуто стаціонарний розподіл температури.

Більше того, потрібно відзначити, що протягом одного циклу обчислень потрібно здійснити $3.14 \cdot 10^5$ обчислень, так як внутрішній стан у кільці характеризується $3.14 \cdot 10^5$ точками. У результаті видно, що число обчислень, необхідних для отримання чисельного результату видається нереальним.

Тому для вирішення крайових задач, які виникають при математичному моделюванні тривимірних нестационарних процесів теплообміну в циліндрах і рідинах, які обертаються, будемо застосовувати інтегральні перетворення.

Метою роботи є розробка тривимірної математичної моделі температурних розподілів у рідини, яка обертається, з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ на гідродинамічеські початковій ділянці у вигляді крайової задачі математичної фізики для рівняння теплопровідності, та розв'язання отриманої крайової задачі, розв'язки якої використовуються під час керування температурними полями.

Основна частина. Розглянемо розрахунок нестационарного несесиметричного температурного поля рідини, яка обертається, з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ на гідродинамічеські початковій ділянці циліндра без урахування осьової теплопровідності, тобто $Pe > 100$, а $Pr \ll 1$. Рух рідини в напрямку осі OZ відбувається з постійною швидкістю V . Теплофізичні властивості рідини не залежать від температури, а внутрішні джерела тепла відсутні. У початковий момент часу температура рідини постійна G_0 , а на поверхні рідини температура не залежить від часу $G(\varphi, z)$.

Математично задача визначення температурного поля рідини $T(\rho, \varphi, z, t)$ складається з інтегрування диференціального рівняння теплопровідності в циліндричній системі координат (ρ, φ, z) в області $D = \{(\rho, \varphi, z, t) | \rho \in (0, 1), \varphi \in (0, 2\pi), z \in (0, \infty), t \in (0, \infty)\}$, що з урахуванням прийнятих допущень запишеться у виді:

$$\frac{\partial \theta}{\partial Fo} + Pd \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} + Pe_f \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \theta}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2}, \quad (1)$$

з початковою і граничними умовами, відповідно

$$\theta(\rho, \varphi, z, 0) = 0, \quad \theta(1, \varphi, z, t) = V(\varphi, z), \quad \theta(\rho, \varphi, 0, t) = 0 \quad (2)$$

де $\theta(\rho, \varphi, z, t) = \frac{T(\rho, \varphi, z, t) - G_0}{T_{\max} - G_0}$ – відносна температура рідини;

$T_{\max} = \max_{\varphi, z} \{G(\varphi, z)\}$; $\rho = \frac{r}{R}$; R – радіус циліндра; c – питома теплоємність; γ – щільність середовища; λ – коефіцієнт теплопровідності; μ – коефіцієнт в'язкості; $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$ – коефіцієнт температуропровідності;

$Pd = \frac{\omega \cdot R^2}{a}$ – критерій Предводітелева; $Fo = \frac{a \cdot t}{R^2}$ – критерій Фур'є;

$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda}$ – число Прандля; $Pe = \frac{V \cdot R}{a}$ – число Пекле; $Pe_f = Pe \cdot R$;

$V(\varphi, z) = \frac{G(\varphi, z) - G_0}{T_{\max} - G_0}$; $V(\varphi, z) \in C(D)$.

Тоді рішення крайової задачі (1)-(2) $\theta(\rho, \varphi, z, t)$ є двічі диференційованим по ρ, z і φ , один раз по t в області D і неперервним на $\bar{D}$ [4], тобто $\theta(\rho, \varphi, z, t) \in C^{2,1}(D) \cap C(\bar{D})$, а функції $\theta(\rho, \varphi, z, t)$ і $V(\varphi, z)$ можуть бути розкладені в комплексний ряд Фур'є [5]:

$$\begin{cases} \theta(\rho, \varphi, z, t) \\ V(\varphi, z) \end{cases} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \begin{cases} \theta_n(\rho, z, t) \\ V_n(z) \end{cases} \cdot \exp(in\varphi), \quad (3)$$

де $\theta_n(\rho, z, t) = \theta_n^{(1)}(\rho, z, t) + i\theta_n^{(2)}(\rho, z, t)$, $V_n(z) = V_n^{(1)}(z) + iV_n^{(2)}(z)$, i – уявна одиниця.

З огляду на те, що $\theta(\rho, \varphi, z, t)$ функція дійсна, обмежимося надалі розглядом $\theta_n(\rho, z, t)$ для $n=0, 1, 2, \dots$, тому що $\theta_n(\rho, z, t)$ і $\theta_{-n}(\rho, z, t)$ будуть комплексно спряженими [5]. Підставляючи значення функцій з (3) у (1) та (2) одержимо систему диференціальних рівнянь:

$$\frac{\partial \theta_n^{(i)}}{\partial Fo} + \vartheta_n^{(i)} \theta_n^{(m_i)} + Pe_f \frac{\partial \theta_n^{(i)}}{\partial z} = \frac{\partial^2 \theta_n^{(i)}}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \theta_n^{(i)}}{\partial \rho} - \frac{n^2}{\rho^2} \theta_n^{(i)} \quad (4)$$

з початковими і граничними умовами, відповідно

$$\theta_n^{(i)}(\rho, z, 0) = 0, \quad \theta_n^{(i)}(1, z, Fo) = V_n^{(i)}(z), \quad \theta_n^{(i)}(\rho, 0, Fo) = 0 \quad (5)$$

де $\vartheta_n^{(1)} = -Pd \cdot n$; $\vartheta_n^{(2)} = Pd \cdot n$; $m_1 = 2$; $m_2 = 1$; $i=1, 2$.

Застосовуємо до системи диференціальних рівнянь (4) із початковими і граничними умовами (5) інтегральне перетворення Ханкеля [4]:

$$\bar{f}(\mu_{n,k}) = \int_0^1 \rho f(\rho) J_n(\mu_{n,k}) d\rho,$$

де $J_n(x)$ – функція Бесселя 1-го роду n -го порядку; $\mu_{n,k}$ – корні трансцендентного рівняння $J_n(\mu_{n,k}) = 0$, які можна знайти за формулою [6]:

$$\mu_{n,k} = \beta - \frac{m-1}{8\beta} - \frac{4(m-1)(7m-31)}{3(8\beta)^3} - \frac{32(m-1)(83m^2-982m+3779)}{15(8\beta)^5} - \frac{64(m-1)(6949m^3-15385m^2+1585743m-6277237)}{105(8\beta)^7},$$

де $\beta = \frac{1}{4}\pi(2n+4k-1)$, $m = 4n^2$, а формула оберненого перетворення має вигляд:

$$f(\rho) = 2 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{J_n(\mu_{n,k}\rho)}{[J'_n(\mu_{n,k})]^2} \bar{f}(\mu_{n,k}). \quad (6)$$

У результаті одержуємо систему диференціальних рівнянь:

$$\frac{\partial \bar{\theta}_n^{(i)}}{\partial Fo} + v_n^{(i)} \bar{\theta}_n^{(m_i)} + Pe_f \frac{\partial \bar{\theta}_n^{(i)}}{\partial z} = \mu_{n,k} J'_n(\mu_{n,k}) V_n^{(i)}(z) - \mu_{n,k}^2 \bar{\theta}_n^{(i)} \quad (7)$$

з початковими та граничними умовами

$$\bar{\theta}_n^{(i)}(z,0) = 0, \quad \bar{\theta}_n^{(i)}(0,t) = 0, \quad (i=1,2). \quad (8)$$

Застосовуємо до системи диференціальних рівнянь (7) з початковими умовами і граничними умовами (8) інтегральне перетворення Лапласа за змінною $z^* = \frac{z}{Pe_f}$ і Fo [4]:

$$\tilde{f}(s) = \int_0^{\infty} f(\tau) e^{-s\tau} d\tau, \quad (9)$$

а також застосовуючи формули оберненого перетворення Лапласа [4] в результаті одержуємо:

$$\begin{aligned} \bar{\theta}_n^{(i)}(\mu_{n,k}, z^*, t) = & \left\langle \int_0^{Fo} \exp(\mu_{n,k}^2 Fo') [W_n^{(i)}(\mu_{n,k}, z^* - Fo + Fo') \eta(z^* - Fo + Fo') \right. \\ & \cos nPd(Fo - Fo') + \delta_i W_n^{(i)}(\mu_{n,k}, z^* - Fo + Fo') \eta(z^* - Fo + Fo') \\ & \left. \sin nPd(Fo - Fo') \right] dFo' \rangle \exp(-\mu_{n,k}^2 Fo) \end{aligned} \quad , (10)$$

де $\delta_1 = -1, \quad \delta_2 = 1; \quad W_n^{(i)}(\mu_{n,k}, z^* - Fo + Fo') = \mu_{n,k} J_n'(\mu_{n,k}) V_n^{(i)}(z^* - Fo + Fo');$
 $i=1, 2.$

$$\eta(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо} & x < 0 \\ 1, & \text{якщо} & x \geq 0 \end{cases}.$$

Таким чином з урахуванням формули оберненого перетворення (6) одержуємо температурне поле рідини, яка обертається з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ :

$$\theta(\rho, \varphi, z^*, Fo) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \left\{ 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left[\bar{\theta}_n^{(1)} + i \cdot \bar{\theta}_n^{(2)} \right] \frac{J_n(\mu_{n,k} \rho)}{[J_n'(\mu_{n,k})]^2} \right\} \cdot \exp(in\varphi),$$

де значення $\bar{\theta}_n^{(1)}$ і $\bar{\theta}_n^{(2)}$ визначаються за формулами (10).

Висновки. Знайдено температурне поле рідини, яка обертається, з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ у вигляді збіжних ортогональних рядів по функціям Бесселя і Фур'є. Знайдений аналітичний розв'язок крайової задачі теплообміну рідини, яка обертається, та може знайти застосування при модулюванні температурних полів, які виникають у багатьох технічних системах (у прокатних валках, турбінах тощо).

ЛІТЕРАТУРА

1. Еремін А.В. Нестационарный теплообмен в цилиндрическом канале при ламинарном течении жидкости / Еремін А.В., Стефанюк Е.В., Рассіпнов А.Ю., Кузнецова А.Э. // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. 2013. №4 (33). С. 122-130.
2. Кудинов В.А. Аналитические решения задач теплообмена при течении жидкости в плоскопараллельных каналах на основе определения фронта температурного возмущения / Кудинов В.А., Стефанюк Е.В., Антимонов М.С. // Инженерно-физический журнал, 2007. Т. 80, №5. С. 176-186.
3. Kuwashimo Kensuke Temperature distribution within a rotating cylindrical body/ Kuwashimo Kensuke, Yamada Tominori // Bull. JSME. – 1978. – Vol. 21, N 152. – P. 266 – 272.

4. Галицын А.С. Интегральные преобразования и специальные функции в задачах теплопроводности / А.С.Галицын, А.И. Жуковский.– Киев, Наукова думка. 1979. – 561 С.
5. Михлин С.Г. Линейные уравнения в частных производных / Михлин С.Г. – М., Высшая школа, 1977. – 427 С.
6. Грэй Э., Мэтьюз Г.Б. Функции Бесселя и их приложения к физике и механике / Грэй Э., Мэтьюз Г.Б. – М., ИЛ., 1949. – 386 С.

А.О. Журба, Д.І. Журба

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ФРАКТАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ЇХ РОЗМІРНІСТЬ

Анотація. В статті розглядається побудова фрактальних об'єктів з різними параметрами з використанням рекурсивних алгоритмів, L-систем, систем ітерованих функцій та дослідження їх фрактальної розмірності.

Ключові слова: фрактальні об'єкти, рекурсивні методи, L-системи, системи ітерованих функцій, фрактальна розмірність.

Вступ. Фрактали являють собою геометричні об'єкти з властивістю самоподібності, коли будь-яка частина фрактала містить його зменшене зображення. Фрактали, по своїй сутності, є рекурсивними структурами і достатньо популярними методами їх побудови є рекурсивні методи, L-системи та системи ітерованих функцій [1].

Рекурсія дозволяє частково визначити об'єкт через себе. Та використовується, як правило, для побудови таких фрактальних об'єктів, в яких можна виділити самоподібність в організації. Рекурсивні методи генерації фракталів можна застосувати для побудови серветки та килима Серпинського, кривої Коха, трикутника Серпинського та ін.

Використання L-систем істотно полегшує графічні побудови, особливо у разі фракталів, що нагадують за формою рослини.

Система ітерованих функцій (СІФ) - ітеративний алгоритм, що полягає в дії на початкову множину стискаючими відображеннями, які на великій кількості ітерацій зводять початкове зображення до зображення фрактала. СІФ - це засіб отримання фрактальних структур.

Метою цієї роботи є дослідження фрактальної розмірності фрактальних об'єктів, побудованих з використанням різних методів, в залежності від їх параметрів.

Матеріали та методики дослідження. Для дослідження було згенеровано близько 300 фрактальних об'єктів різними методами та з різними параметрами.

В роботі запропонована розробка програмного модулю RekursFractals для генерації фрактальних об'єктів з використанням рекурсивних алгоритмів. При розробці програмного модулю RekursFractals було передбачено можливість побудови фрактальних об'єктів з використанням рекурсивних алгоритмів з різними параметрами.

При побудові простих фрактальних об'єктів передбачено завдання такого параметру як порядок фрактала. При цьому можна побудувати такі прості об'єкти як трикутник та килим Серпинського, криву Коха (рис. 1).

При побудові фрактальних множин передбачено завдання таких параметрів як порядок фрактального об'єкту, кількість точок по кожній з осей координат, кількість ітерацій при обчисленні фрактала. При цьому можна побудувати такі фрактальні об'єкти як: множину Мандельброта, множину Жюліа, множину Ньютона та ін. (рис. 2).

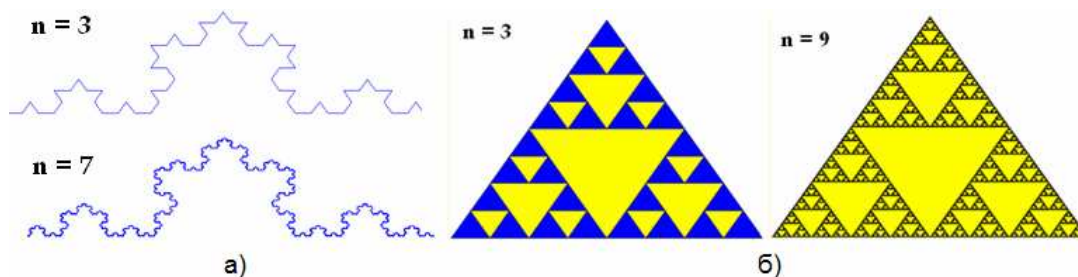


Рисунок 1 - Приклади побудови простих фрактальних об'єктів з різними параметрами: а) крива Коха; б) трикутник Серпинського

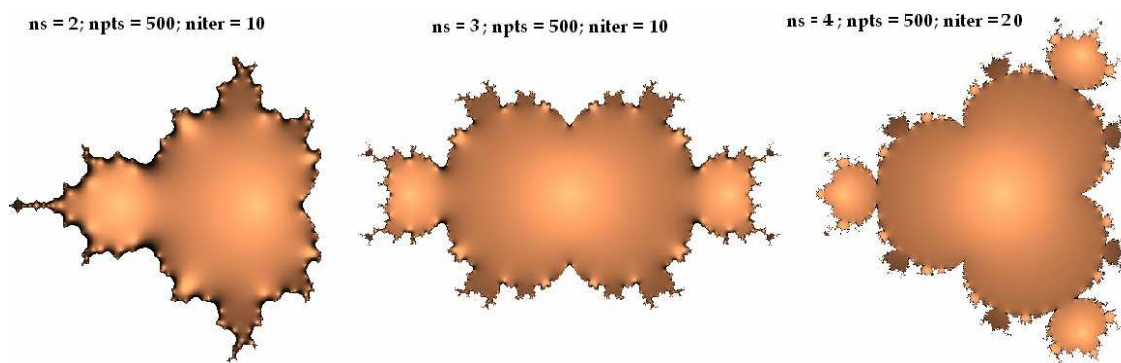


Рисунок 2 - Приклад побудови множини Мандельброта з різними параметрами

За допомогою розробленого програмного модулю *RekursFractals* було згенеровано більше 100 фрактальних об'єктів. Кожний фрактальний об'єкт було побудовано з різними параметрами та досліджено його можливі параметри.

В роботі запропонована розробка програмного модулю *L-systems* для генерації фрактальних об'єктів з використанням *L-систем* з різними параметрами.

Для представлення фракталів в *L-системах* генеруються слова, що є послідовностями букв і символів. *L-системи* використовують процеси із зворотним зв'язком, в яких результат однієї ітерації є початковим значенням для наступної. На кожному кроці нове слово виходить шляхом заміщення букв вхідного слова заздалегідь заданими рядками. Процес повторюється ітеративно встановлену кількість разів, що визначає порядок *L-системи*.

При побудові фрактальних об'єктів з використанням програмного модулю *L-systems* передбачено завдання таких параметрів як порядок фрактального об'єкту, кут тета та кут альфа. При цьому можна побудувати такі фрактальні об'єкти як: крива Коха, сніжинка Коха, криві Дракона, Госпера, Гільберта, Серпинського та ін. (рис. 3).

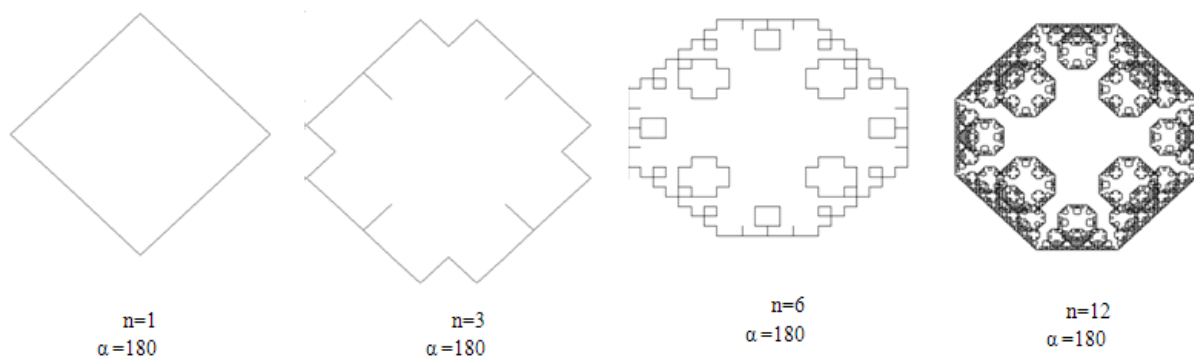


Рисунок 3 - Приклад побудови кривої Леві з використанням *L-систем* з різними параметрами

В роботі запропонована розробка програмного модулю *SIF* для генерації фрактальних об'єктів з використанням систем ітерованих функцій з різними параметрами (рис. 4).

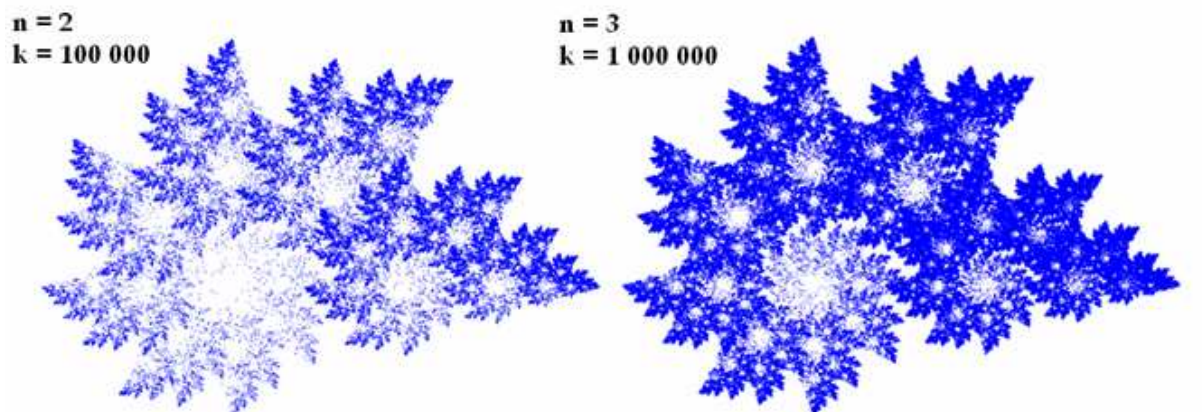


Рисунок 4 - Приклад побудови фрактального об'єкту з використанням СІФ з різними параметрами

При побудові фрактальних об'єктів з використанням програмного модулю SIF передбачено завдання таких параметрів як порядок фрактального об'єкту та кількість точок, які будуть задіяні при побудові фрактального об'єкту. При цьому можна побудувати такі фрактальні об'єкти як: листя папороті, трикутник Серпинського, дендрити, дерева та ін.

Фрактальна розмірність визначалася методом BOX COUNTING, який може бути застосований до зображень об'єктів різної структури і дозволяє визначати фрактальну розмірність не суворо самоподібних об'єктів [1].

Результати досліджень та їх огляд. За допомогою розроблених програмних модулів RekursFractals, L-systems та SIF було згенеровано більше 300 фрактальних об'єктів. Кожний фрактальний об'єкт було побудовано з різними параметрами та досліджено його можливі параметри.

Для всіх побудованих фрактальних об'єктів було досліджено фрактальну розмірність, яка являє собою кількісну характеристику, що описує фрактал. Для обчислення фрактальної розмірності було використано метод Box Counting [1].

Таблиця 1

Фрактальна розмірність деяких фрактальних об'єктів, побудованих зі застосуванням рекурсивних алгоритмів

Назва фрактального об'єкта	Параметри				Фрактальна розмірність
	Порядок фрактала	Порядок фрактальної множини	Кількість точок по кожній із осей координат	Кількість ітерацій для розрахунку фракталів	
Килим Серпинського	1	*	*	*	1.9346
	2	*	*	*	1.9123
	3	*	*	*	1.9006
	4	*	*	*	1.8917
	5	*	*	*	1.8676
Множина Мандельброта	*	1	500	10	1.9341
	*	3	500	10	1,696
	*	3	500	20	1,6873
	*	3	500	30	1,6694
	*	4	500	10	1,5924
	*	4	500	15	1,6034
	*	4	500	20	1,5967

В табл. 1 представлена фрактальна розмірність деяких фрактальних об'єктів, побудованих з використанням рекурсивних алгоритмів. Дослідження показали, що фрактальна розмірність зменшується при збільшенні порядку фрактала. При цьому кількість точок не впливає на фрактальну розмірність. Кількість ітерацій не дає чіткої залежності зміни фрактальної розмірності.

В табл. 2 представлені значення фрактальної розмірності деяких об'єктів, побудованих з використанням L-систем. З результатів, що наведені у табл. 2 можна зробити висновок, що фрактальна розмірність збільшується при збільшенні порядку фрактала. При цьому кут альфа та тета суттєво не впливають на фрактальну розмірність.

В табл. 3 представлені значення фрактальної розмірності деяких об'єктів, побудованих з використанням систем ітерованих функцій. З результатів, що наведені у табл. 3 можна зробити висновок, що фрактальна розмірність збільшується при збільшенні кількості точок, що використовувалися для побудови фрактального об'єкту та при збільшенні порядку фрактала.

Таблиця 2

Фрактальна розмірність деяких фрактальних об'єктів,
побудованих зі застосуванням L-систем

Назва фрактального об'єкта	Параметри			Фракталь- на розмір- ність
	Кут Альфа	Порядок	Кут Те- та	
Трикутник Серпинського	180	1	60	1.4289
	180	2	60	1.3982
	180	3	60	1.4356
	180	4	60	1.4646
	180	5	60	1.4924
	0	1	60	1.3654
	0	2	60	1.3896
	0	3	60	1.4239
Крива Леві	180	1	45	1.3588
	180	2	45	1.3626
	180	3	45	1.373
	180	4	45	1.384
	180	5	45	1.4031
	180	6	45	1.4114
	180	7	45	1.4528
	180	8	45	1.4652
	180	9	45	1.5173

Таблиця 3

Фрактальна розмірність деяких фрактальних об'єктів,
побудованих зі застосуванням систем ітерованих функцій

Назва фрактального об'єкта	Параметри фрактального об'єкту		Фрактальна розмірність
	Порядок фрактала	Кількість точок для побудови	
Кристал	1	10 000	1.6456
	2	100 000	1.7861
	3	1 000 000	1.6725
Дендрит	1	10 000	1.6857
	2	100 000	1.7343
	3	1 000 000	1.7444
	4	10 000 000	1.7165

Висновки. В рамках роботи було згенеровано близько 300 фрактальних об'єктів і розраховано їх фрактальні розмірності.

Проаналізувавши фрактальну розмірність об'єктів, побудованих з використанням систем ітерованих функцій, можна зробити висновки, що фрактальна розмірність збільшується при збільшенні кі-

лькості точок, що використовувалися для побудови фрактального об'єкту та при збільшенні порядку фрактала.

Проаналізувавши фрактальну розмірність об'єктів, побудованих з використанням L-систем, можна зробити висновок, що фрактальна розмірність збільшується при збільшенні порядку фрактала. При цьому кут альфа та тета суттєво не впливає на фрактальні розмірності.

Проаналізувавши фрактальну розмірність об'єктів, побудованих з використанням рекурсивних алгоритмів, можна зробити висновок, що фрактальна розмірність зменшується при збільшенні порядку фрактала (для трикутника та килима Серпинського, кривої Коха). При цьому кількість точок не впливає на фрактальну розмірність. Кількість ітерацій не дає чіткої залежності зміни фрактальної розмірності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Журба А.О. Особливості визначення фрактальної розмірності методом BOX COUNTING у задачах металознавства / А.О. Журба, О.І. Михайлов // Інформатика та системні науки (ІСН-2012): матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Полтава, 1-3 березня 2012р. – С.109-111.

СОДЕРЖАНИЕ

Герасимов В.В., Хандецкий В.С. Развитие спектрального метода идентификации модуляционных импульсов в дефектоскопии композитных материалов.....	3
Горяинов А.В., Пономарев И.В. Разработка специализированного модуля для CMS Drupal	12
Ivon A.I., Istushkin V.F., Lavrov R.I. Using of raster images for measurement of time constant τ of exponential pulses	17
Ivon A.I., Istushkin V.F., Lischenko A.A. Measurement of geometric parameters of plane figures IN raster images	24
Карпенко Н.В., Мартинович Л.Я., Безотосний Д.О. Моделювання твердих розчинів заміщення-проникнення.....	29
Литвинов А.А., Грузин Д.Л., Гуреев П.П. Особенности автоматизации разработки функций в многоуровневых информационных системах	36
Литвинов А.А., Мизюмская А.Д. Особенности оценки оптимальности распределения ресурсов отделения хирургического профиля	42
Матвеева Н.А., Герасимов В.В., Игнатьева Д.О. Исследование технологий модульного тестирования на платформе Java	49
Матвеева Н.О., Лазоренко Ю.В. Порівняльний аналіз алгоритмів оптимізації навчання для розв'язання задачі класифікації сигналів	56
Sivtsov D.P. The phase method for measurement of components of impedance eddy-current sensors in devices for non-destructive testing	64
Спиринцев В.В., Баланенко О.Є. Програмне забезпечення з використанням API для розширення бібліотек в системах автоматизованого проектування	71
Spirintseva O.V. Photogrammetric image holder exponent based segmentation.....	77
Тищенко С.В. Створення віртуального осцилографа на базі сучасного мікроконтролера	82

Твердоступ Н.И.

Особенности измерения индуктивного импеданса на низких частотах 87

Хандецький В.С.

Модифікація алгоритму Dual для доменів MPLS в комп'ютерних мережах 93

Буланий М.Ф., Коваленко О.В., Хмеленко О.В., Плахтій Є.Г.

Пристрій для автоматичного вимірювання спектрів електронного парамагнітного резонансу101

Рибка Ю.М.

Автоматизована система розподілення навчального навантаження кафедри107

Ахметшина Л.Г., Ахметшин К.А.

Восстановление пространственных данных с использованием нечеткой кластеризации и самоорганизующейся карты Кохонена112

Бердник М.Г.

Математичне моделювання задачі теплообміну рідини на гідродинамічеські початковій ділянці119

Журба А.О., Журба Д.І.

Дослідження впливу параметрів фрактальних об'єктів на їх розмірність125

РЕФЕРАТЫ

УДК 620.179.14

Герасимов В.В., Хандецкий В.С. **Развитие спектрального метода идентификации модуляционных импульсов в дефектоскопии композитных материалов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.3 - 11.

Предложена модификация спектрального метода идентификации сигналов дефектов в слабопроводящих композитах со значительной шероховатостью поверхности. Построены карты вероятности выявления и идентификации поверхностных трещин различной глубины на фоне действия высокоинтенсивного шума.

Библ. 5, ил. 4.

УДК 621.3

Горяинов А.В., Пономарев И.В. **Разработка специализированного модуля для CMS Drupal** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.12 - 16.

Разработан модуль импорта данных для CMS Drupal. Представлены правила организации и структуры модулей в системе управления контентом Drupal. Описан алгоритм действий, необходимых для создания собственного модуля.

Библ. 2, илл. 3.

УДК 004.92+51-37

Ивон А.И., Истушкин В.Ф., Лавров Р.И. **Использование растровых изображений для измерения постоянной времени τ экспоненциальных импульсов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.17 - 23.

Разработан метод измерения постоянной времени τ экспоненциальных импульсов. Метод использует результаты сканирования растровых изображений аналоговых осциллограмм, полученные с помощью цифровой фотокамеры. Средствами языков HTML, CSS, JavaScript и библиотеки jQuery создана программа, реализующая этот метод. Программной средой для ее использования являются браузеры сети Интернет. Ошибка измерения метода не более чем $\pm 1\%$.

Библ. 3, илл. 4.

УДК 004.92+51-37

Ивон А.И., Истушкин В.Ф., Лищенко А.А. **Измерение геометрических параметров плоских фигур на растровых изображениях** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.24 - 28.

Представлена методика измерения с высокой точностью геометрических параметров плоских фигур на растровых изображениях. Длина и площадь таких объектов определяются по результатам сканирования их координат. Создана программа, реализующая эту методику. Программной средой для ее использования являются браузеры сети Интернет.

Библ. 2, илл. 2.

УДК 004.94+539.2

Карпенко Н.В., Мартинович Л.Я., Безотосний Д.О. **Моделювання твердих розчинів заміщення-проникнення** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.29 - 35.

За допомогою комп'ютерного моделювання одержано залежності періоду кристалічної решітки від вмісту розчинених атомів для твердих розчинів заміщення, проникнення та твердих розчинів змішаного типу.

Бібл. 6. іл. 5, табл. 1.

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А., Грузін Д.Л., Гурєєв П.П. **Особенности автоматизации разработки функций в богатошаровых информационных системах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.36 - 41.

В роботі пропонується підхід до автоматизації побудови інфраструктури для реалізації функцій в богатошарових інформаційних системах. Ідея базується на використанні шаблонів, що описано в попередніх роботах. Функція описується на скриптовій мові з застосуванням маркерів. У результаті програмист отримує набір упорядкованих завдань щодо реалізації функції та відповідну інфраструктуру.

Бібл. 4. іл. 2, табл. 1.

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А., Мізюмська А.Д. **Особенности процедуры оценки оптимального распределения ресурсов хирургической клиники** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.42 - 48.

У роботі розглядається метод щодо оцінювання оптимальності розподілу ресурсів відділення хірургічного профілю, який враховує різноманітні параметри та їх пріоритети, включаючи ризики відхилення показників від норми, що задається стандартом, кошти пов'язані з хірургічними операціями та пр.

Бібл. 4. іл., табл.4.

УДК 004.415.53

Матвеева Н.А., Герасимов В.В., Игнатьева Д.О. **Исследование технологий модульного тестирования на платформе Java** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.49 - 55.

Проведено исследование основных технологий модульного тестирования, выявлены их функциональные особенности, достоинства и недостатки. Сделаны выводы касательно сфер их применения.

Библ. 12.

УДК 621.3

Матвеева Н.О., Лазоренко Ю.В. **Порівняльний аналіз алгоритмів оптимізації навчання для розв'язання задачі класифікації сигналів** // Системные технологии. Регио-

нальный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.56 - 63.

Представлено результати дослідження алгоритмів зворотного розповсюдження помилки для навчання нейронних мереж, які виконують класифікацію сигналів у дефектоскопії. Моделювання багат шарового персептрона виконувалось у середовищі Matlab.

Бібл. 6, табл. 6.

УДК 620.19

Сівцов Д.П. **Фазовий метод визначення складових імпедансу вихорострумове сенсору у приладах неруйнівного контролю** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.64 - 70.

Пропонується і обговорюється метод чисельного визначення складових імпедансу вихорострумове сенсору на основі фазо-частотної характеристики вимірювального кола з метою отримання інформації щодо величини, яка контролюється. Наведено теоретичне обґрунтування методу і приклади його застосування для різних схемних моделей сенсору.

Бібл. 4, іл. 1

УДК 519.682

Спірінцев В.В., Баланенко О.Є. **Програмне забезпечення з використанням API для розширення бібліотек в системах автоматизованого проектування** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.71 - 76.

Запропоновано універсальне програмне забезпечення на базі мови програмування C# з використанням API для розширення бібліотек в найбільш поширених системах автоматизованого проектування: КОМПАС, Autodesk Inventor, SolidWorks.

Бібл. 2, илл. 3.

УДК 514.18

Спірінцева О.В. **Сегментація фотограмметричного зображення на основі показника Холдера** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.77 - 81.

В роботі досліджені підходи сегментації фотограмметричних зображень на основі мультифрактального аналізу з метою оптимального виділення меж об'єкту інтересу.

Бібл. 5, іл. 1, табл. 1.

УДК 539.2'548

Тищенко С.В. **Створення віртуального осцилографа на базі сучасного мікроконтролера** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.82 - 86.

Запропоновано рішення для отримання вимірювального пристрою бюджетного класу. Досліджено можливість створення вимірювального пристрою на базі сучасних мікроконтролерів. Створено і випробувано прототип віртуального осцилографа.

Бібл. 4, іл. 2.

УДК 621.382.08(035.5)

Твердоступ Н.И. **Особенности измерения индуктивного импеданса на низких частотах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.87 - 92.

Исследованы возможности метода трех вольтметров для измерения индуктивности, активного сопротивления, а также их частотных характеристик. Установлено, что в диапазоне частот до 100 кГц погрешность измерения индуктивности составляет не более 0,3%, активного сопротивления – 8,65%.

Библ. 3, илл. 2, табл. 1

УДК 681.3.07

Хандецкий В.С. **Модифікація алгоритму DUAL для доменів MPLS в комп'ютерних мережах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.93 - 100.

Досліджено розподіл навантаження в каналах MPLS - домену регулярної структури з маршрутами, визначеними на основі класичного варіанта алгоритму DUAL. Проведено модифікацію алгоритму з метою досягнення більш рівномірного завантаження каналів домену, що дозволило зменшити середньоквадратичне відхилення значень інтенсивності трафіку в каналах в 1,64 рази.

Библ. 4, илл. 2, табл. 4.

УДК 004.932.2

Буланий М.Ф., Коваленко О.В., Хмеленко О.В., Плахтій Є.Г. **Пристрій для автоматичного вимірювання спектрів електронного парамагнітного резонансу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.101 - 106.

Розроблено та виготовлено пристрій для автоматичного вимірювання спектрів електронного парамагнітного резонансу за допомогою зовнішнього мікроконтролерного блоку, який вимірює величину індукції магнітного поля та інтенсивність сигналу ЕПР з можливістю подальшого зберігання та обробки даних на ПК.

Библ. 4, ил. 3.

УДК 004.42

Рибка Ю.М. **Автоматизована система розподілення навчального навантаження кафедри** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.107 - 111.

У роботі описано додаток, за допомогою якого можна проводити автоматизований розподіл навчального навантаження між викладачами кафедри.

Бібл. 2., рис.2.

УДК 004-93

Ахметшина Л.Г., Ахметшин К.А. **Восстановление пространственных данных с использованием нечеткой кластеризации и самоорганизующейся карты Кохонена** //

Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.112 - 118.

Рассмотрены возможности метода восстановления пропусков пространственных данных, основанного на использовании алгоритма нечеткой кластеризации и нейронной сети Кохонена. Представлены результаты проверки метода на модельных и реальных данных.

Библ. 5, рис. 4.

УДК 536.24

Бердник М.Г. **Математичне моделювання задачі теплообміну рідини на гідродинамічеські початковій ділянці** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.119 - 123.

Знайдено температурне поле рідини, яка обертається, з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ на гідродинамічеські початковій ділянці у вигляді збіжних ортогональних рядів по функціям Бесселя і Фур'є .

Бібл. 6.

УДК 530.1

Журба А.О., Журба Д.І. **Дослідження впливу параметрів фрактальних об'єктів на їх розмірність** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (102). - Днепропетровск, 2016. - с.124 - 130.

В статті розглядається побудова фрактальних об'єктів з різними параметрами з використанням рекурсивних алгоритмів, L-систем, систем ітерованих функцій та дослідження їх фрактальної розмірності.

Бібл. 1, іл. 4.

UDC 620.179.14

Gerasimov V.V., Khandetsky V.S. **Development of a spectral identification method of the modulation signals in defectoscopy of composite materials** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.3 - 11.

Modification of a spectral method of signal identification in weakly conductive composites with the considerable roughness of a surface is offered. Probability maps of detection and identification of surface cracks of different depth against action of high intensity noise are constructed.

Bibl. 5, ill. 4.

UDC 621.3

Goriainov A.V., Ponomarev I.V. **Development of specialized modules for CMS Drupal** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.12 - 16.

Developed the data import module for CMS Drupal. Presents the rules of the organization and structure of the modules in the content management system Drupal. The algorithm of actions necessary to create your own module.

Bibl. 2, ill. 3.

UDC 004.92+51-37

Ivon A.I., Istushkin V.F., Lavrov R.I. **Using of raster images for measurement of time constant τ of exponential pulses** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.17 - 23.

Method for measurement of time constant τ of exponential pulse was developed. Method use the scan data of raster images of analog oscillograms, obtained by means of a digital photcamera. Program for method realization was created by means of the languages HTML, CSS, JavaScript and jQuery library. Any Internet browser is the software environment for use of this programme. The measurement error of method is no more than $\pm 1\%$.

Bibl. 3, ill. 4.

UDC 004.92+51-37

Ivon A.I., Istushkin V.F., Lischenko A.A. **Measurement of geometric parameters of plane figures in raster image** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.24 - 28.

Method for measurement with the high precision of geometric parameters of plane figures in raster image is presented. The length and the area of such objects are defined from scan data of their coordinates. Programme for method realization was created. Internet browsers are the software environment for its using.

Bibl. 2, ill. 2.

UDC 004.94 + 539.2

Karpenko N.V., Martynovych L.Y., Bezotosny D.O. **Substitutional and interstitial solid solution modelling** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.29 - 35.

The dependence of the lattice parameter of the content of solute atoms was obtained by computer modelling. Substitutional and interstitial solid solution mixed type were model.

Bibl. 6, Tabl. 1, Fig. 5.

UDC 614.2+574/578+004.38

Litvinov A.A., Gruzin D.L. Gureev P.P. **Specific of multi-layer information system functions developing automation** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.36 - 41.

The given work is devoted to a variant of solution connected to function development support for multi-layered information system. The idea based on script templates, described in previous works. Function is described in script language using special markers, as a result programmer has a set of ordered "to do" works needed to implement the function, and correspondent program infrastructure.

Bibl. 4, ill. 2. tabl.1.

UDC 614.2+574/578+004.38

Litvinov A.A., Mizumskaya A.D. **Specific of estimation of surgical clinic resources optimal distribution** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.42 - 48.

The given work is devoted to the issue of estimation of surgical clinic resources distribution, considered different parameters and their priorities, including risk of deviation from standard time, material expenses connected with the surgical operations etc. The method of automated optimal distribution discovery is also suggested.

Bibl. 7, ill.. tabl.4.

UDC 004.415.53

Matveeva N.O., Gerasimov V.V., Ihnatieva D.O. **Research of technologies of unit testing on the Java platform** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.49 - 55.

Research of the main technologies of unit testing is conducted, their functional features, advantages and disadvantages are revealed. Conclusions concerning areas of their usage are given.

Bibl. 12.

UDC 621.3

Matveeva N.A., Lazorenko Y.V. **Comparative analysis of optimization training algorithms for solving problems of classification signals** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.56 - 63.

The research results of algorithms for back-propagation error neural network training that perform classification signals in detection are presented. Modeling of multilayer perceptron in MATLAB environment is implemented.

Bibl. 6, tabl. 6.

UDC 620.19

Sivtsov D.P. **The phase method for determination of parts of the Impedance of eddy-current sensors in the devices for non-destructive testing** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.64 - 70.

In this paper proposed and discussed method numerical determination the parts of impedance of eddy-current sensor in the aim to obtain the information about the parameter

which must be tested. The theoretical justification of this method and the examples of its applications for different models were described.

Bibl. 4, ill. 1

UDC 519.682

Spirintsev V.V., Balanenko A.E. **Software with the use of API for expansion of libraries in systems automated planning** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.71 - 76.

Universal software on the base of programming language C# with the use of API for expansion of libraries in the most widespread computer-aided designs: КОМПАС, Autodesk Inventor, SolidWorks is offered.

Bibl. 2, ill. 3.

UDC 514.18

Spirintseva O.V. **Photogrammetric image Holder exponent based segmentation** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.77 - 81.

The aspects of photogrammetric images segmentation based on multifractal analysis are studied in this paper in order to extract the edges of the developed object optimally.

Bibl. 5, ill. 1, Tabl. 1.

UDC 539.2'548

Tyshchenko S.V. **Creating virtual oscilloscope on modern microcontroller** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.82 - 86.

Offered solution for low-end measuring device. Explored the possibility of creating a measuring device based on modern microcontrollers. Created and tested a prototype of a virtual oscilloscope.

Bibl. 4, ill. 2.

UDC 621.382.08(035.5)

Tverdostup N.I. **Features measuring inductive impedance at low frequencies** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.87 - 92.

The possibilities of the method three voltmeters to measure inductance, a resistance, and their frequency characteristics. It is found that in the frequency range up to 100 kHz, the inductance of the measurement error is not more than 0.3%, resistance - 8.65%.

Bibl. 3, ill. 2, tabl. 1.

UDC 681.3.07

Khandetskyi V.S. **Modification of DUAL algorithm for MPLS domains in computer networks** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.93 - 100.

Distribution of load in the regular structure of MPLS – domain routes derived from the classic version of DUAL algorithm is studied. We conducted the modification of the algorithm to achieve more uniform load balancing. The standard deviation of traffic intensity in the network channels was reduced to 1,64 times.

Bibl. 4, ill. 2, tabl. 4.

UDK 004.932.2

Bulaniy M.F., Kovalenko A.V., Khmelenko O.V., Plahtii E.G. **Device for automatic measurement of spectra of electron paramagnetic resonance** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.101 - 106.

We developed a device for automatic measurement of EPR spectra with the help of external microcontrolled block which measures the value of induction of magnetic field and intensity of EPR signal with capability to store and handle data on PC.

Bibl. 4, ill. 3.

UDC 004.42

Rybka Yy.M. **Automated system workload distribution department** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.107 - 111.

The paper describes an application that allows to conduct automated workload distribution between teachers of department.

Fig.2, Bibl. 2.

UDC 004-93

Akhmetshina L., Akhmetshin K. **Restoration of spatial data using fuzzy clustering and self-organizing Kohonen map** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.112 - 118.

The possibilities of recovery method permits spatial data, using an algorithm based on fuzzy clusterization and Kohonen neural network. The results of modeling by the geophysical surface on the model and real data has been presented.

Lit. 5, fig. 4.

UDC 621.3

Berdnyk M. **Mathematical modeling of heat transfer fluid in the initial section hydrodynamics** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.119 - 123.

Found fluid temperature field, which rotates at a constant angular velocity around the initial section of a convergent series in orthogonal functions and Fourier-Bessel.

Bibl. 6.

Zhurba A.A., Zhurba D.I. **Investigation of the influence of parameters of fractal objects on their dimension** // System technologies. N 1(102) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.124 - 130.

The article discusses the construction of fractal objects with different parameters using recursive algorithm, L-systems, iterated function systems and the study of their fractal dimension.

Bibl. 1.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Ахметшина Людмила Георгиевна – профессор, д.т.н., профессор кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Ахметшин Костянтин Олександрович - программист DAXX (м. Дніпропетровськ).

Баланенко Алексей Евгеньевич - студент 5 курса кафедры АСОИ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Безотосний Д.О. - студент Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Бердник Михаил Геннадиевич - Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара.

Буланий Михало Филимонович – професор, д.ф.-м.н, проф. кафедри радіоелектроніки Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Герасимов Владимир Владимирович – ассистент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Горяинов Антон Витальевич - студент 4 курса кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Грузін Дмитро Леонідович - студент-магістр кафедри ЕОМ, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара.

Гуреев Павел Павлович - студент 5 курса кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Журба Анна Алексеевна – доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Журба Дмитрий Иванович – аспирант кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Ивон Александр Иванович – д.ф.-м.н., профессор кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Игнатьева Дарья Олеговна - студентка 4 курса кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Истушкин Валерий Федорович – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Карпенко Надія Валеріївна – к.ф.-м.н, доцент кафедри ЕОМ, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара.

Коваленко Александр Владимирович – докт. физ.-мат. наук, зав. каф. радиоэлектроники, Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара.

Лавров Роман Иванович – ассистент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Лазоренко Юрий Викторович – магистр кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Литвинов Александр Анатольевич – доцент, к.т.н, доцент кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Ліщенко Олександр Олександрович – магістр кафедри електронних обчислювальних машин Днепропетровського національного університета ім. Олеся Гончара.

Мартынович Лариса Ярославовна – асистент кафедри ЕВМ Днепропетровського національного університета ім. Олеся Гончара.

Матвеева Наталия Александровна – доцент, к.т.н., доцент каф. ЕВМ, ДНУ ім. Олеся Гончара.

Мизюмская Анастасия Дмитриевна – студентка-магістр кафедри ЕВМ Днепропетровського національного університета ім. Олеся Гончара.

Плахтій Є.Г. - Днепропетровский національний університет ім. Олеся Гончара.

Пономарев Игорь Владимирович – доцент, к.т.н., Днепропетровский національний університет ім. Олеся Гончара.

Сивцов Дмитрий Павлович – заведуючий учебной лабораторией кафедри електронних вичислительних машин факультета фізики, електроніки і комп'ютерних систем ДНУ ім. О. Гончара.

Спірінцев В'ячеслав Васильович – к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Спірінцева Ольга Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Тищенко Сергей Владимирович – студент-магістр кафедри ЕВМ Днепропетровського національного університета ім. Олеся Гончара.

Твердоступ Николай Иванович – доцент, к.т.н., доцент кафедри ЕВМ Днепропетровського національного університета ім. Олеся Гончара.

Хандецкий Владимир Сергеевич – профессор, д.т.н., зав. каф. ЕВМ Днепропетровського національного університета ім. Олеся Гончара.

Хмеленко Олег Валерьевич – канд. физ.-мат наук, доцент каф. радиоэлектроники, Днепропетровский национальный университет ім. Олеся Гончара.