

**О. Г. ЮЩЕНКО**, канд. фіз.-мат. наук., професор, НТУ «ХПІ»;  
**Д. Ю. ПЕРЕПЕЛИЦЯ**, спеціаліст, НТУ «ХПІ»;  
**Д. І. ШИМКО**, магістр НАУ

## ИНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ САД ЖОЛОБКОВОГО ХВИЛЕВОДУ

Предложена экспертная система автоматизированного проектирования конструкции желобкового волновода. Электродинамическое моделирование осуществлялось модифицированным МЧО, верифицированным экспериментально.

**Ключевые слова:** экспертная система, желобковый волновод, САД.

**Вступ.** Технології штучного інтелекту є ефективним засобом радикального вдосконалення телекомунікаційних систем взагалі [1,2], та їх елементної бази, зокрема [3-6]. Це пов'язано з тим, що штучний інтелект моделює творчі процеси природи [7], як на рівні генетичної оптимізації, так і на – нейромережової обробки інформації, та дозволяє формалізувати знання провідних експертів в конкретній предметній області.

**Аналіз літератури та постановка задачі дослідження.** Тривалий час розробка телекомунікаційних систем міліметрового діапазону стримувалась відсутністю ефективної технології масового виробництва елементної бази і його стандартизації та ліцензування. За останні декілька років ці недоліки були подолані, і в діапазонах 60 ГГц та E (71–76, 81–86 та 92–95 ГГц), спостерігається інноваційний бум, пов'язаний з розробкою систем надшвидкісної та надширокопосмугової передачі інформації [8].

Традиційний інтерес до жолобкових хвилеводів (ЖВ) обумовлений рекордно низьким погонними втратами в НВЧ-КВЧ діапазонах, технологічністю виготовлення, великою граничною потужністю енергії, що передається; він може стати основою для розробки новітніх хвилеводних компонентів: атенуаторів, фазообертачів, спрямованих відгалужувачів, фільтрів, антен і ін. [9,10]. Ключова особливість жолобкового хвилеводу, що визначає його основні електродинамічні властивості і практичну значимість – це проміжне положення в класифікації відкритих і закритих електродинамічних систем.

**Електродинамічна модель.** В теоретичному плані електродинамічний аналіз напіввідкритих систем пов'язаний з рішенням складних крайових задач математичної фізики. Серед багатьох математичних моделей найбільш сприятливою виявляється модифікований метод Трефтца, що дає можливість виключати особливі точки на інтервалі зшивання модових базисів та отрима-

ти безкінечні системи лінійних алгебраїчних рівнянь другого роду, що швидко сходяться [7]. В рамках такого підходу нами були знайдені дисперсійні рівняння для Н- та Е мод жолобкового хвильоводу [9,10], та формули для розрахунків межевої потужності та погонних втрат; теоретичні результати підтверджені експериментальними дослідженнями. Далі ми наведемо розрахункові данні для енергетичних параметрів ЖХ, які отримані на основі цитованих теоретичних результатів, та запропонуємо експертну систему, що дозволяє автоматизувати оптимізацію конструкції ЖХ відповідно до технічних вимог користувача.

### 1 Залежність електричних параметрів від геометрії

На рис. 2-3 наведено розрахункові значення вказаних енергетичних параметрів жолобкових хвильоводів, з позначеннями, що зображені на рис. 1.

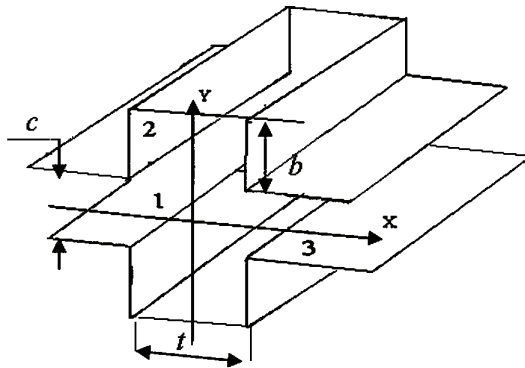


Рисунок 1 – Геометрія жолобкового хвильоводу

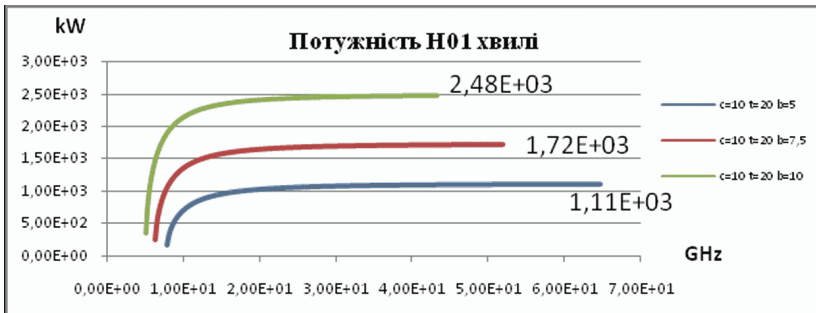


Рисунок 2 – Залежність максимальної потужності хвилі  $H_{01}$  від геометрії жолобкового хвильоводу

Як ми бачимо, наведені залежності є функціями від геометрії хвильоводу, що ускладнює процес оптимізації його профілю відповідно технічних умов

розробки. До того ж, як свідчить досвід, одні й ті ж електричні параметри можуть бути досягнутими при різноманітних сполученнях геометричних розмірів, але, при цьому, інші електричні параметри будуть суттєво відрізнятися; тому виникає необхідність автоматизувати процес оптимізації геометрії хвилеводу сучасними засобами штучного інтелекту. Додамо, що фізичний хист динаміки розрахованих залежностей наведено в публікаціях [9,10], і зараз ми на них не зосереджуємося.

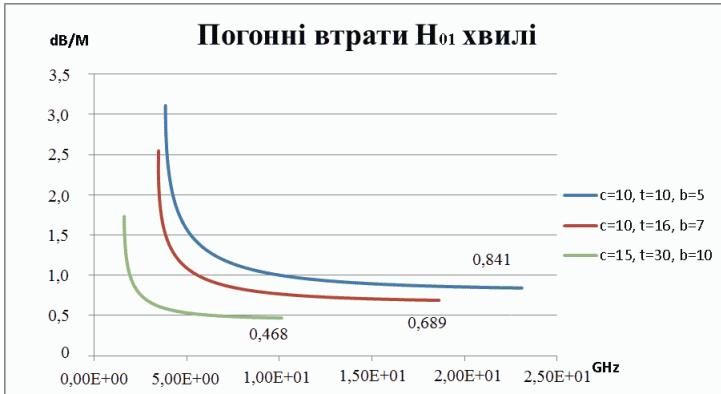


Рисунок 3 – Залежність рівня згасання хвилі Н<sub>01</sub> від геометрії жолобкового хвилеводу

## 2 Обґрунтування і вибір засобу проектування системи керування БД

Будь-яка система, направлена на збереження значного обсягу даних потребує використання системи управління їх базами (СУБД). На сьогоднішній день одна з найпопулярніших є СУБД SQLite, це невелика бібліотека, яка містить вбудовані налаштування, та не вимагає установки «движку» SQL бази даних. Особливості SQLite:

- Нульова конфігурація – не потрібна установка, настройка або адміністрування.

- Вся база даних зберігається в одному файлі.

- Файли баз даних можуть спільно використовуватися різними «машинами».

- Дозволяє зберігати великі обсяги даних. Підтримуються бази даних розміром більше 2 терабайт.

- Малий розмір коду файлів: менше 250 кб для повної конфігурації або менше 150 кб з вимкненими опціями.

- Просте, легке у використанні API.

- Доступно, як один вихідний файл, який можна легко впровадити в інший.

Усе це робить SQLite оптимальною для реалізації завдання оптимізації конструкції жолобкового хвилеводу (рис. 6).

При написанні програми були використані як стандартні бібліотеки Vog-

land Delphi, так і бібліотека компонентів, сполучення яких забезпечило зручний і інтуїтивно зрозумілий користувальницький інтерфейс. У якості системи представлення знань було обрано продукційну модель [11-13,6], яка ілюструється наступними правилами (російською):

«1. Расчет рабочих значений»:

«Если,»

- в БД найдено значение соответствующее введенной частоте, «То,»
- выбор соответствующих значений  $c, b, t$  из БД, «Else.»
- Расчет значений.
- Занесение значений в БД.
- Выбор значений из БД.

«2. Расчет лямбд – рабочей и критической»:

«Если,»

- задан коэффициент «смещения» от критической частоты, «То,»
- Расчет рабочей лямбды.
- Расчет критической лямбды.

«Else.»

- Вывод сообщения об отсутствии входных данных

«3. Расчет критических значений».

«Если,»

- в БД найдено значение, соответствующее критическому значению лямбда, «То,»
- Выбор соответствующих значений  $c, b, t$  из БД, «Else. «
- Расчет значений.
- Занесение значений в БД.
- Выбор значений из БД.

«4. Вывод значений на форму».

«Если,»

- значения соответствуют  $\text{tun}\alpha\ \text{string}$  (для вывода в поля для результатов), «То,»
- Вывод значений, «Else.»
- Перевод значений из Float/Integer в String .
- Вывод значений».

### 3 Розробка алгоритму

Блок-схема експертної системи зображена на рис. 4 .Виходячи із заданого алгоритму розрахунку критичного значення  $\lambda$  був написаний програмний код за обраною мовою програмування (Borland Delphi). Спочатку з бази даних вибирається значення, відповідне до введеної частоти. Далі обчислюється критичне значення та геометричні параметри ЖХ:  $c, b, t$ , що відповідають йому. Вихідними даними для БД є розрахунки робочих діапазонів  $H_{01}$  та  $E_{11}$  хвиль, рівень погонного загасання та максимальний рівень потужності. Був обраний певний діапазон вхідних даних для розрахунків, щоб формувати ве-

лику вибірку значень. Після розрахунків допоміжними програмами всіх визначених значень були сформовані файли, які пізніше були занесені в БД. Якщо в БД не має релевантної до конкретного запиту інформації, то «запускається» відповідна програма розрахунку, та база доповнюється.

#### 4 Блок-схема експертної системи

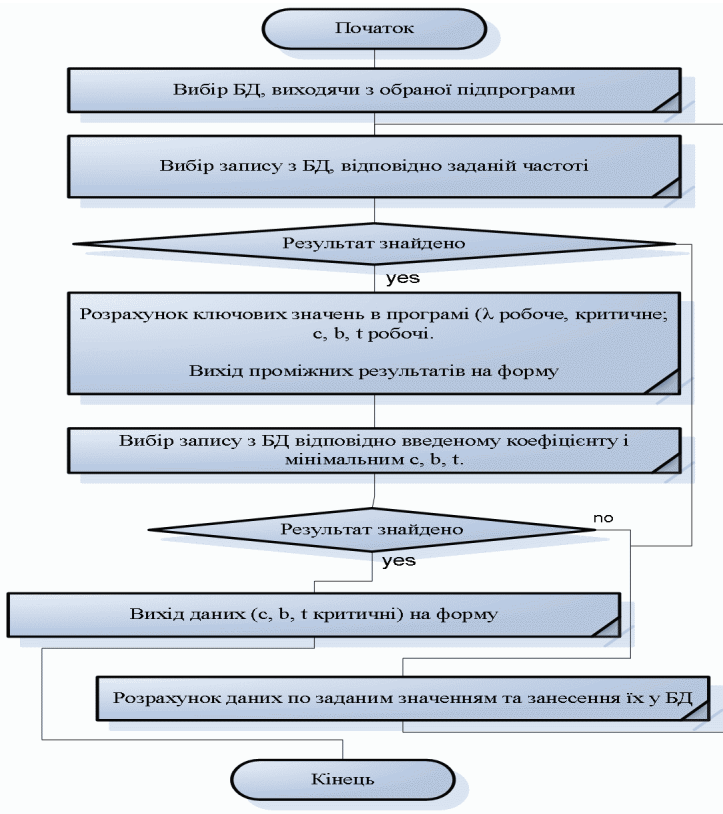


Рисунок 4 – Блок-схема експертної системи

#### 5 Робота інтелектуальної програми

Програма вибирає потрібну інформацію із БД, виходячи з вибору користувачем відповідної підпрограми (рис. 6), будь то розрахунок геометрії ЖХ відповідної до: частоти хвилі  $E_{11}$  (рис. 7) або  $H_{01}$  (рис. 8), мінімального рівня погонного згасання (рис. 9) або максимального рівня потужності хвилі (рис. 10). Далі слідує вибір запису з БД, що відповідає заданій частоті. Після того, як результат знайдено проводиться розрахунок значень у програмі. По завершенню розрахунків відбувається виведення проміжних результатів на фор-

му.

У результаті вибирається запис з БД відповідної введеному коефіцієнту (задає «зміщення» робочого діапазону від критичної частоти) і мінімальних (технологічних) параметрів хвилеводу:  $c$ ,  $b$ ,  $t$ , та здійснюється виведення кінцевих результатів на екранну форму.

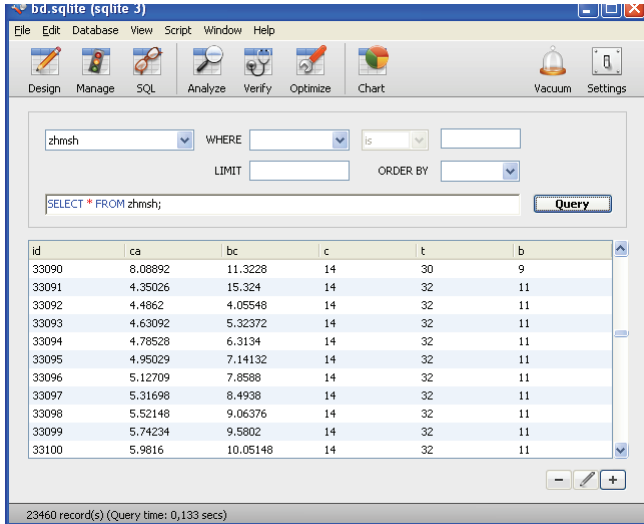


Рисунок 5 – Зберігання даних розрахунків критичної частоти в базі SQLite

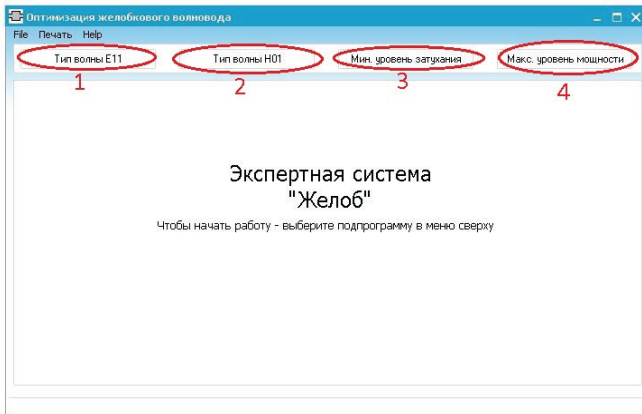
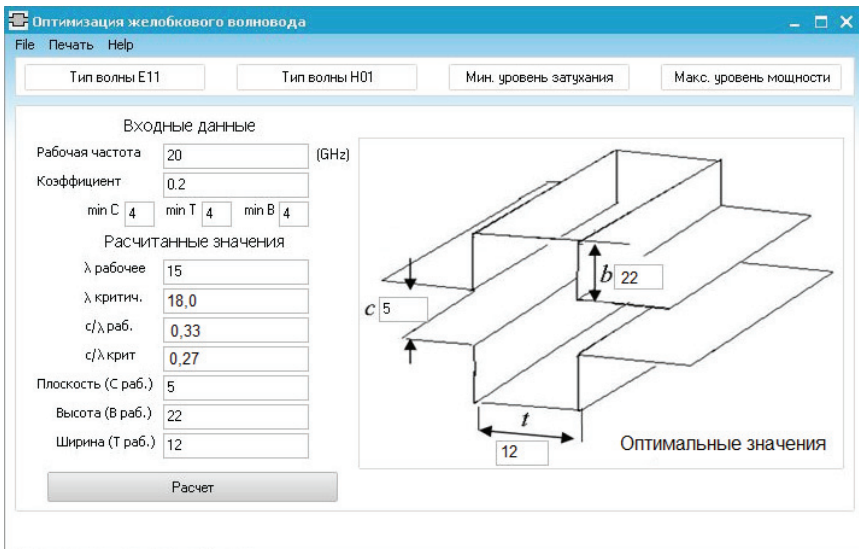
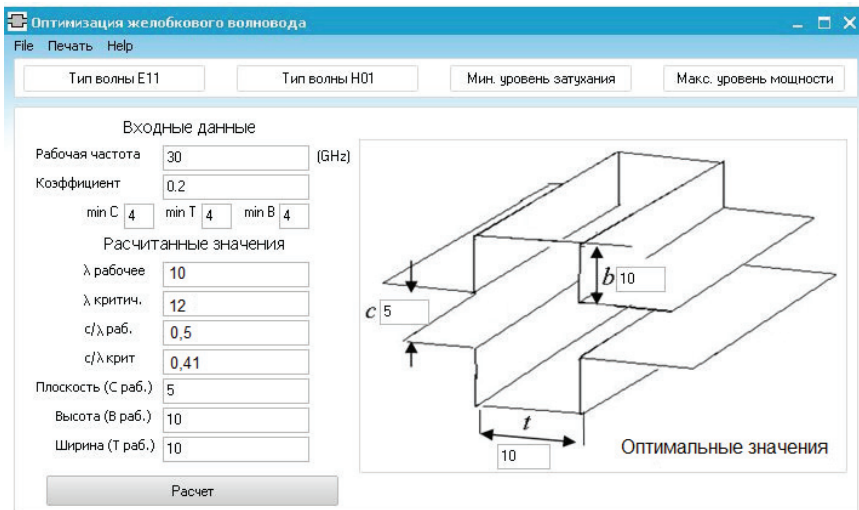


Рисунок 6 – Экранна форма ЕС



Выбрана подпрограмма: Тип волны E11

Рисунок 7 – Геометрія жолобкового хвилеводу відповідна до робочої частоти хвилі  $E_{11}$



Выбрана подпрограмма: Тип волны H01

Рисунок 8 – Геометрія жолобкового хвилеводу відповідна до робочої частоти хвилі  $H_{01}$

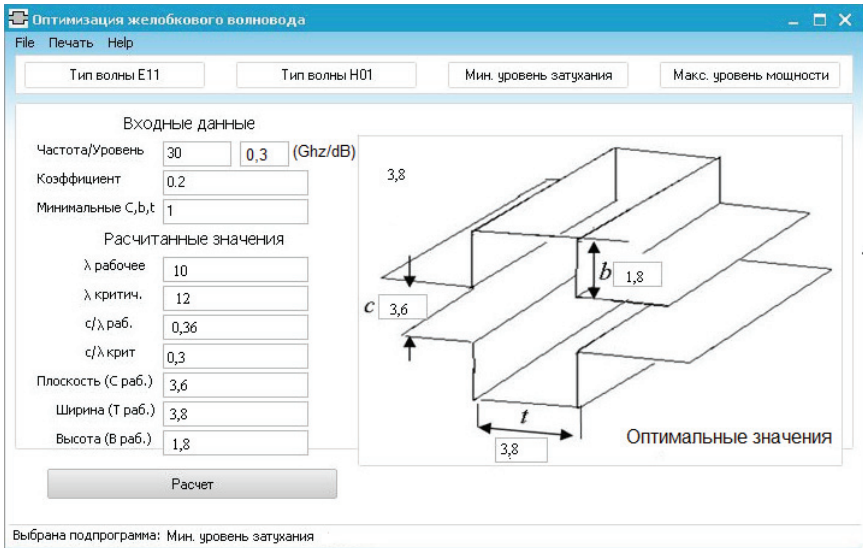


Рисунок 9 – Геометрия желобкового хвиеводу відповідна до робочої частоти та мінімального рівня погонних втрат хвилі  $H_{01}$

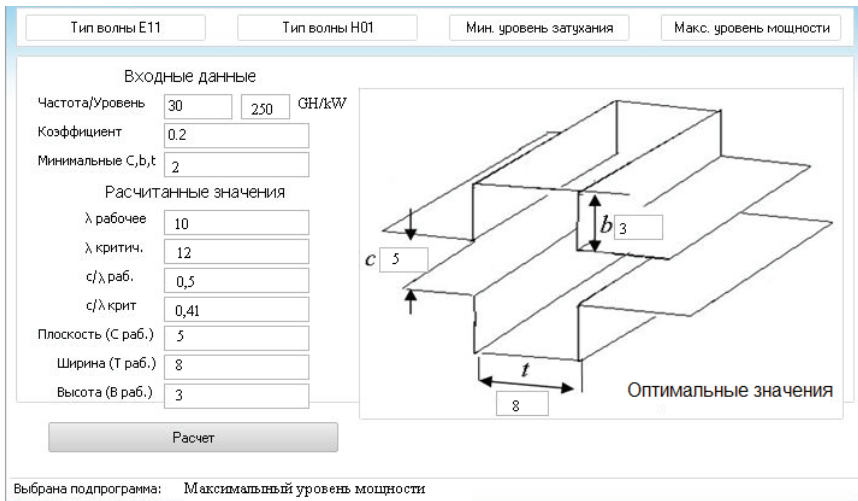


Рисунок 10 – Геометрия желобкового хвиеводу відповідна до робочої частоти та максимального рівня потужності хвилі  $H_{01}$



## 6 Тестування програмного забезпечення

Тестування створеного програмного продукту відбувалося шляхом виявлення помилок у базі розрахункових даних. До процедур, що тестувалися відносяться:

- процедура ручного введення даних;
- підпрограми розрахунку даних;
- виявлення дефектів в інтерфейсах та у взаємодії між компонентами програми.

Перевірка правильності роботи зазначених процедур здійснювалася за допомогою відладчиків, вбудованих у середовище розробки Borland Delphi [13].

## 7 Висновки

Таким чином, на прикладі жолобкового хвилеводу було показано як засобами штучного інтелекту вирішуються питання оптимального конструювання елементної бази телекомунікаційних систем. В цілому, результати роботи дозволяють розробникам новітньої техніки міліметрового діапазону раціонально обрати робочу моду та розрахувати геометрію жолобкового хвилеводу в залежності від вимог щодо мінімальних погонних втрат та максимального рівня потужності, що передається.

**Список літератури:** 1. *Агеев Д. В.* Проективання сучасних телекомунікаційних систем // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 4/2 (46). – С. 75-77. 2. *Cohen M.A., Grossberg S.* Absolute stability of global pattern formation and parallel memory storage by competitive neural networks // IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. – 1983. – V. 13, № 5. – P. 815-826. 3. *R. Thabet, M. L. Riabi* Design of Metallic Cylindrical Waveguide Bandpass Filters Using Genetic Algorithm Optimization // Progress in Electromagnetics Research Symposium Abstracts. – Moscow, 18-21 August 2009. – PP. 785-786. 4. *M. Yahia, J. W. Tao, H. Benzina, M. N. Abdelkrim,* Ridged Waveguide Filter Optimization Using the Neural Networks and a Modified Simplex Method // International Journal of Innovation, Management and Technology. – 2010. – Vol. 1, № 3. – PP. 259-263. 5. *K. Humayun* Advanced Neural Network Modeling Techniques for Efficient CAD of Microwave Filters // Carleton University, Ottawa, 2009. 6. *A. Yushchenko, D. Mamedov, D. Zaytsev* Intellectual CAD for Three-Tier Wide Band WDR Filters // Wireless Engineering and Technology. – 2012. – Vol. 3, № 1. – PP. 30-35. 7. *A.G. Yushchenko* Physical and Mathematical Aspects of Some Mode Matching Method Modifications // ММЕТ. – Kharkov: 2000. – Vol. 2. – PP. 494-496. 8. *В.Вишневецкий, С. Фролов, И.Шахнович* Миллиметровый диапазон как промышленная реальность. Стандарт IEEE 802.15.3с и спецификация WirelessHD // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2010. – № 3. 9. *A.G. Yushchenko, S.F. Shibalkin* Electrodynamical Modeling of Waveguide Properties of the Transmission Lines Based on Planar Waveguide Splitters // IR&MMwaves. – 1994. – Vol. 15, № 11. – PP. 1937-1965. 10. *О.Г. Ющенко, С.Ф. Шибалкин, В.С. Мірошніченко* Теоретичне та експериментальне дослідження жолобкової лінії передачі // Зв'язок. – 2007. – № 4. 11. *Гаврилова Т. А., Хорошевський В. Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. – С-Пб.: Питер, 2000. – 382 с. 12. *Іванов Ю., Парацук І.* Експертні системи при проектуванні телекомунікації // Журнал Мобільні системи. – 2007. – Вип. 11. – С. 60-62. 13. *Частиком А. П., Гаврилова Т. А., Белов Д. Л.* Розробка експертних систем. – С-Пб.: БХВ-Петербург, 2003. – 608 с. [http://en.wikipedia.org/wiki/C\\_standard\\_library](http://en.wikipedia.org/wiki/C_standard_library).

*Надійшла до редакції 28.10.2013*

УДК 621.396.6: 007:159.955:519.768

**Інтелектуальний САД жолобкового хвилеводу / О.Г. Ющенко, Д.Ю. Перепелиця, Д.І. Шимко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 60 (1033). – С. 151-160. – Бібліогр.: 13 навз.**

Запропоновано експертну систему автоматизованого проектування конструкції жолобкового хвилеводу. Електродинамічне моделювання виконане за використанням модифікованого МЧО, який верифіковано експериментально.

**Ключові слова:** експертна система, жолобковий хвилевод, САД

A knowledge based CAD system of groove guide design has been developed. Modified mode matching method of electrodynamics modeling was used, which was proved by an experimental data.

**Key words:** knowledge based CAD system, groove guide design