

І. Д. Варламов, М. А. Роговець, С. С. Гаценко, Ю. А. Бучинський

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ТИПІВ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ

У статті наведено загальний опис алгоритму визначення типу джерела радіовипромінювання за параметрами його сигналу та обґрунтовано доцільність автоматизації цього процесу. З цією метою запропоновано підхід до технічної реалізації автоматизованої системи підтримки прийняття рішення щодо визначення типів джерел радіовипромінювань, який ґрунтується на використанні веб-служб та протоколів SOAP, XML-RPC тощо. Для забезпечення статистичної обробки інформації рекомендовано використовувати систему управління базами даних MySQL у контрольованій зоні без виходу до мережі Інтернет. Крім того, запропоновано загальну архітектуру та алгоритм роботи експертної системи визначення типу джерел радіовипромінювань за параметрами сигналу. Практична цінність такого підходу полягає в можливості його програмної реалізації.

Ключові слова: радіоелектронна обстановка, джерело радіовипромінювання, радіоелектронний засіб, система підтримки прийняття рішення, веб-сервіс, веб-служба.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Одним із основних етапів контролю радіоелектронної обстановки (РЕО) є визначення типів, а подекуди екземплярів джерел радіовипромінювань (ДРВП). У зв'язку з відсутністю уніфікованого програмного (програмно-апаратного) інструменту, який би дозволяв автоматизувати процес визначення типів ДРВП, такі процедури здійснюються операторами постів "у ручному режимі". За таких умов рішення приймаються на основі суб'єктивного досвіду та знань особи, що приймає рішення (оператора посту контролю РЕО). Отже, автоматизація процесу виявлення та розпізнавання ДРВП залишається одним з пріоритетних напрямків розвитку системи контролю РЕО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідно до [1] сучасні засоби контролю РЕО є пасивними радіоелектронними засобами (РЕЗ), що дозволяють виявляти та перехоплювати електромагнітні випромінювання ДРВП, а також розпізнавати їх за типами. При цьому якість подальшої обробки випромінювання ДРВП залежить від того, наскільки надійно цей сигнал виявляється і наскільки достовірно (точно) оцінюються його технічні параметри. Це обумовлено тим фактом, що спостереження сигналу завжди відбувається на тлі різноманітних завад, а факт виявлення корисного сигналу є випадковою подією. Крім того, в [1] зазначено, що обробка перехопленого сигналу починається з аналізу електромагнітного поля $u(t, r)$ на розкриві приймальної антени $r \in L$ протягом часу $t \in [-T/2; T/2]$ за умови наявності просторово-часових завад $n(t, r)$. Якщо вважати, що сигнал і завади адитивні, то

$$u(t, r, \alpha_i) = s(t, r, \alpha_i) + n(t, r), \quad (1)$$

де $s(t, r, \alpha_i)$ – сигнал, що залежить від часової t , просторової r координат і деяких параметрів α_i ;

$n(t, r)$ – сукупність перешкод, що залежать від часової t та просторової r координат.

Просторово-часові перешкоди $n(t, r)$ утворюються як наслідок взаємодії атмосфери і космічного простору, адитивних шумів антенно-фідерного тракту, інших шумів приймальної апаратури засобу контролю РЕО.

Обробка сигналу з приймальної антени станції контролю РЕО поділяється на просторову і часову. На першому етапі здійснюється селекція сигналу в просторі за допомогою антенної системи, яка виконує функцію просторового фільтра. Результатом цього є визначення напрямку надходження сигналу від нерухомого ДРВП або ж траєкторії руху його носія. Протягом другого етапу здійснюється обробка сигналу приймачем станції контролю РЕО в часовій області. У результаті часової обробки визначаються амплітудно-частотні показники, а також якісні та кількісні характеристики модулюючих функцій перехоплених електромагнітних випромінювань. Одним із шляхів автоматизації обробки електромагнітних випромінювань є створення відповідних експертних систем як окремого класу комп'ютерних програм, що формують поради, проводять аналіз, виконують класифікацію, дають консультації та визначають типи об'єктів дослідження [2].

Формулювання завдання дослідження. Отже, метою статті є аналіз підходу технічної реалізації автоматизованої системи підтримки прийняття рішення (СППР) щодо визначення типу ДРВП за параметрами перехопленого електромагнітного випромінювання.

Виклад основного матеріалу. Сутність роботи оператора станції контролю РЕО полягає у виявленні сигналу від ДРВП, його реєстрації та вимірюванні таких параметрів, як: F_H – несуча частота електромагнітного випромінювання; T_i – період слідування імпульсів; τ_i – тривалість імпульсів; T_c – період слідування сигналів. У результаті такої обробки оператор повинен визначити тип ДРВП, сигнали якого перехоплено.

Результати проведеного аналізу свідчать, що комплекс дій оператора станції контролю РЕО можна подати у вигляді системи “запит – відповідь”. При цьому одним з ефективних підходів створення таких систем є веб-служби. Веб-служба (англ. web service) – програмна система зі стандартизованими інтерфейсами, що ідентифікується веб-адресою.

Веб-служби можуть взаємодіяти як між собою, так і зі сторонніми додатками за допомогою повідомлень, що ґрунтуються на протоколах (SOAP, XML-RPC тощо) та угодах (REST). Веб-служба є одиницею модульності при використанні сервіс-орієнтованої архітектури додатка [3].

За протокол взаємодії запропонованої СППР та веб-сервісу було обрано протокол SOAP, який дозволяє реалізувати функції експертної системи. SOAP (Simple Object Access Protocol) є протоколом обміну структурованими повідомленнями в розподіленому обчислювальному середовищі.

Такий підхід дозволяє перейти до концепції побудови системи з розподіленими обчисленнями за рахунок залучення відповідного сервера, який має значні обчислювальні можливості та локальний доступ до системи управління базами даних (СУБД).

Перевірка працездатності веб-служби здійснюється за допомогою посилання <http://127.0.0.1/Scripts/soapasurtr.exe>, у результаті чого генерується html-документ (рис. 1).



Рис. 1. Відповідь веб-служби на запит

XML-документ відпрацьовується мовою WSDL (Web Services Description Language) та містить опис веб-служб. Фрагмент WSDL-опису зображено на рис. 2.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
- <definitions xmlns="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" name="IEncodeDecodeservice"
  targetNamespace="http://tempuri.org/" xmlns:tns="http://tempuri.org/" xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/"
  xmlns:soapenc="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/" xmlns:mime="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/mime/">
- <message name="ParamToRLSRequest">
  <part name="Param1" type="xs:string" />
  <part name="Param2" type="xs:string" />
  <part name="Param3" type="xs:string" />
</message>
- <message name="ParamToRLSResponse">
  <part name="return" type="xs:string" />
</message>
- <portType name="IEncodeDecode">
- <operation name="ParamToRLS">
  <input message="tns:ParamToRLSRequest" />
  <output message="tns:ParamToRLSResponse" />
</operation>
</portType>
- <binding name="IEncodeDecodebinding" type="tns:IEncodeDecode">
  <soap:binding style="rpc" transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http" />
- <operation name="ParamToRLS">
  <soap:operation soapAction="urn:u_Intrf-IEncodeDecode#ParamToRLS" style="rpc" />
- <input message="tns:ParamToRLSRequest">
  <soap:body use="encoded" encodingStyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/" namespace="urn:u_Intrf-IEncodeDecode" />
</input>
- <output message="tns:ParamToRLSResponse">
  <soap:body use="encoded" encodingStyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/" namespace="urn:u_Intrf-IEncodeDecode" />
</output>
</operation>
</binding>
- <service name="IEncodeDecodeservice">
- <port name="IEncodeDecodePort" binding="tns:IEncodeDecodebinding">
  <soap:address location="http://127.0.0.1/Scripts/soapasurtr.exe/soap/IEncodeDecode" />
</port>
</service>
</definitions>
```

Рис. 2. WSDL-опис функції ParamToRLS (SF, ST, STau)

При цьому веб-служба фізично розташована на ПЕОМ із СУБД MySQL у контрольованій зоні без виходу до мережі Інтернет. Інформація, що циркулює в системі між СППР та веб-службою, може передаватися каналами автоматизованої системи управління (АСУ) військового призначення, над якими побудована підмережа VPN (Virtual Private Network – віртуальна приватна мережа), що створена на базі технології OpenVPN та має гарантовану стійкість криптографічного захисту. Загальні принципи передачі даних між складовими СППР через підмережу OpenVPN, а також принципи побудови останньої наведено в [4].

Експертна система визначення типу ДРВп за параметрами складається з таких основних елементів (рис. 3):

1. Підсистема графічного відображення РЕО – складова СППР, призначений для відображення картографічної інформації.

2. Веб-служба – сервіс, розгорнутий на базі серверної ПЕОМ, призначений для обробки запитів, доступу до СУБД і надання відповіді про результати.

3. СУБД MySQL – підсистема СППР, що забезпечує накопичення, систематизацію та зберігання здобутої інформації.

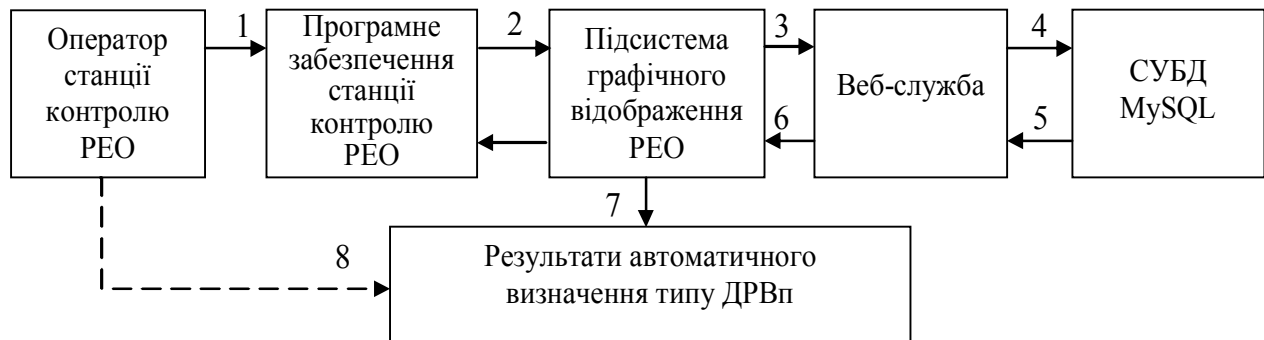


Рис. 3. Загальна архітектура експертної системи визначення типу ДРВп

Розглянемо порядок функціонування СППР відповідно до загальної архітектури (рис. 3).

На першому етапі оператор здійснює визначення типу ДРВп за фоновією особливістю прийнятих сигналів та приймає рішення щодо інструментального аналізу випромінювання. У результаті інструментального аналізу перехопленого випромінювання ДРВп генерується файл з розширенням “.dat” (далі – dat-файл), що містить у собі сукупність результатів вимірювань за певний проміжок часу.

На другому етапі роботи СППР завантажує щойно створений бойовою програмою dat-файл, обчислює такі параметри сигналу: несучу частоту сигналу F_H , період слідування імпульсів T_i та тривалість імпульсів τ_i . Кожен з цих параметрів може мати декілька значень (від двох до п’яти).

На третьому етапі СППР формує запит до веб-сервісу у вигляді функції

$$Param_{T_0RLS}(SF, ST, STau), \quad (2)$$

де SF – сукупність визначених несучих частот сигналу (до п'яти значень), розділених знаком пробілу;

ST – сукупність визначених періодів слідування імпульсів у сигналі (до п'яти значень), розділених знаком пробілу;

$STau$ – сукупність визначених тривалостей імпульсів у сигналі (до п'яти значень), розділених знаком пробілу.

На четвертому етапі веб-служба генерує сукупність SQL-запитів до СУБД MySQL за визначеним алгоритмом.

На п'ятому етапі після отримання та аналізу даних від СУБД MySQL веб-служба формує вектор можливих типів ДРВп.

На шостому етапі веб-служба впорядковує за показниками ймовірності визначений вектор можливих типів ДРВп:

$$N_1; P_1; N_2; P_2; \dots; N_n; P_n, \quad (3)$$

де N_i – назва радіолокаційної станції, визначена веб-службою;

P_i – імовірнісний коефіцієнт, що має значення в умовних пунктах (чим більше його значення, тим більш імовірно, що сигнал станції відповідає обрахованим параметрам).

У результаті сьомого етапу СППР формує відповідь веб-служби щодо можливого типу ДРВп та у вигляді таблиці виводить на екран монітора. Скріншот вікна результатів роботи СППР зображено на рис. 4.

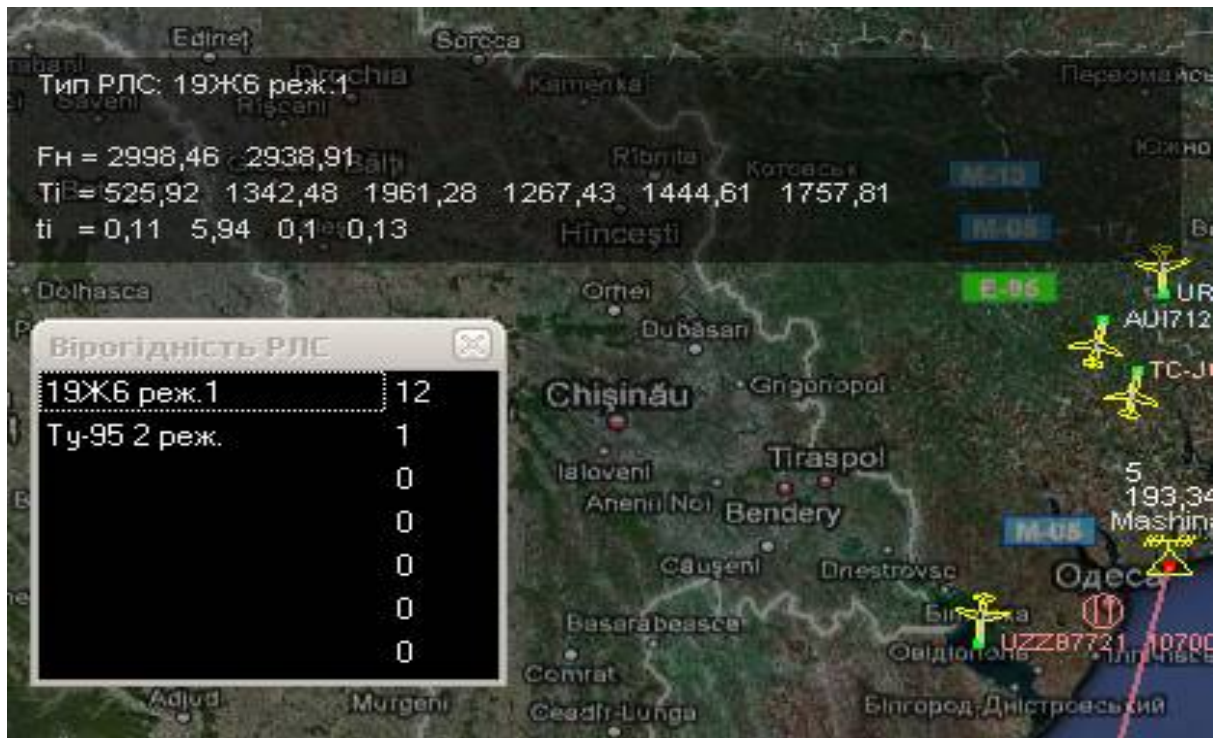


Рис. 4. Скріншот вікна результатів роботи СППР

Протягом восьмого етапу оператор станції контролю РЕО повинен прийняти рішення щодо визначення типу ДРВп на основі результатів, запропонованих СППР. Необхідно

зауважити, що в процесі прийняття рішення оператор використовує як варіанти, запропоновані СППР, так і апріорні й емпіричні дані.

Результат прийняття рішення оператором наноситься на карту відображення РЕО та реєструється в базі даних.

Сервер бази даних. За замовчуванням продукт підтримує базу даних MySQL, яка належить до реляційних систем. На рис. 5 наведено схему бази даних СППР визначення типу ДРВп.

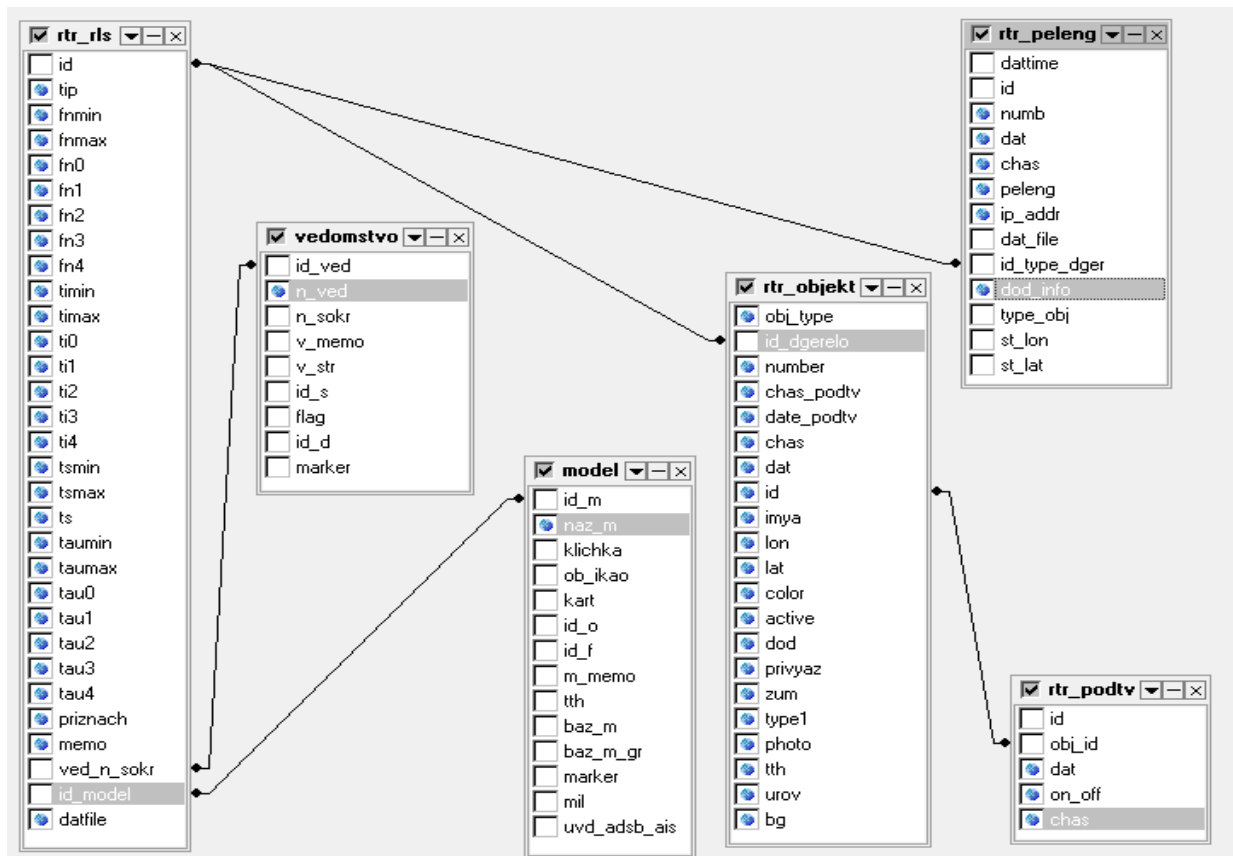


Рис. 5. Схема бази даних СППР визначення типу ДРВп

СППР визначення типу ДРВп використовує такі таблиці бази даних:

rtr_rls – таблиця, у якій містяться основні назви та параметри сигналів, за нею проводяться основні обрахунки;

rtr_objekt – таблиця з даними про об’єкти моніторингу;

rtr_peleng – таблиця з пеленгаційною інформацією;

rtr_podtv – дані про підтвердження роботи об’єктів моніторингу;

vedomstvo – таблиця, що містить назви відомств, до яких належать об’єкти моніторингу;

model – таблиця типів та характеристик літальних апаратів, кораблів та наземних рухомих об’єктів.

Основною таблицею бази даних, що використовується експертною системою для обрахунків є rtr_rls (табл. 1).

Таблиця бази даних, що використовується експертною системою для розрахунків

№	Назва поля	Значення даних
1	id	Ідентифікаційний номер запису
2	tip	Назва ДРВп (можливе зазначення режиму експлуатації ДРВп)
3	fnmin	Мінімальна F_H (несуча частота сигналу)
4	fnmax	Максимальна F_H (несуча частота сигналу)
5	fn0	Перше значення F_H
6	fn1	Друге значення F_H
7	fn2	Третє значення F_H
8	fn3	Четверте значення F_H
9	fn4	П'яте значення F_H
10	timin	Мінімальний T_i (період слідування імпульсів)
11	timax	Максимальний T_i (період слідування імпульсів)
12	ti0	Перше значення T_i
13	ti1	Друге значення T_i
14	ti2	Третє значення T_i
15	ti3	Четверте значення T_i
16	ti4	П'яте значення T_i
17	tsmin	Мінімальний період слідування сигналів
18	tsmax	Максимальний період слідування сигналів
19	ts	Період обертання діаграми спрямованості
20	taumin	Мінімальна τ_i (тривалість імпульсів)
21	taumax	Максимальна τ_i (тривалість імпульсів)
22	tau0	Перше значення τ_i
23	tau1	Друге значення τ_i
24	tau2	Третє значення τ_i
25	tau3	Четверте значення τ_i
26	tau4	П'яте значення τ_i
27	priznach	Призначення ДРВп (бортове, корабельне, наземне)
28	memo	Додаткова інформація
29	ved_n_sokr	Скорочена назва відомства, до якого належить даний тип ДРВп
30	id_model	Модель (тип) техніки, що несе на собі даний тип ДРВп
31	datfile	Еталонний dat-файл сигналу у форматі системи контролю РЕО

Модуль автоматичного визначення типів ДРВп є складовою веб-служби, розміщеної на сервері бази даних. Блок-схему алгоритму визначення типів ДРВп зображено на рис. 6.

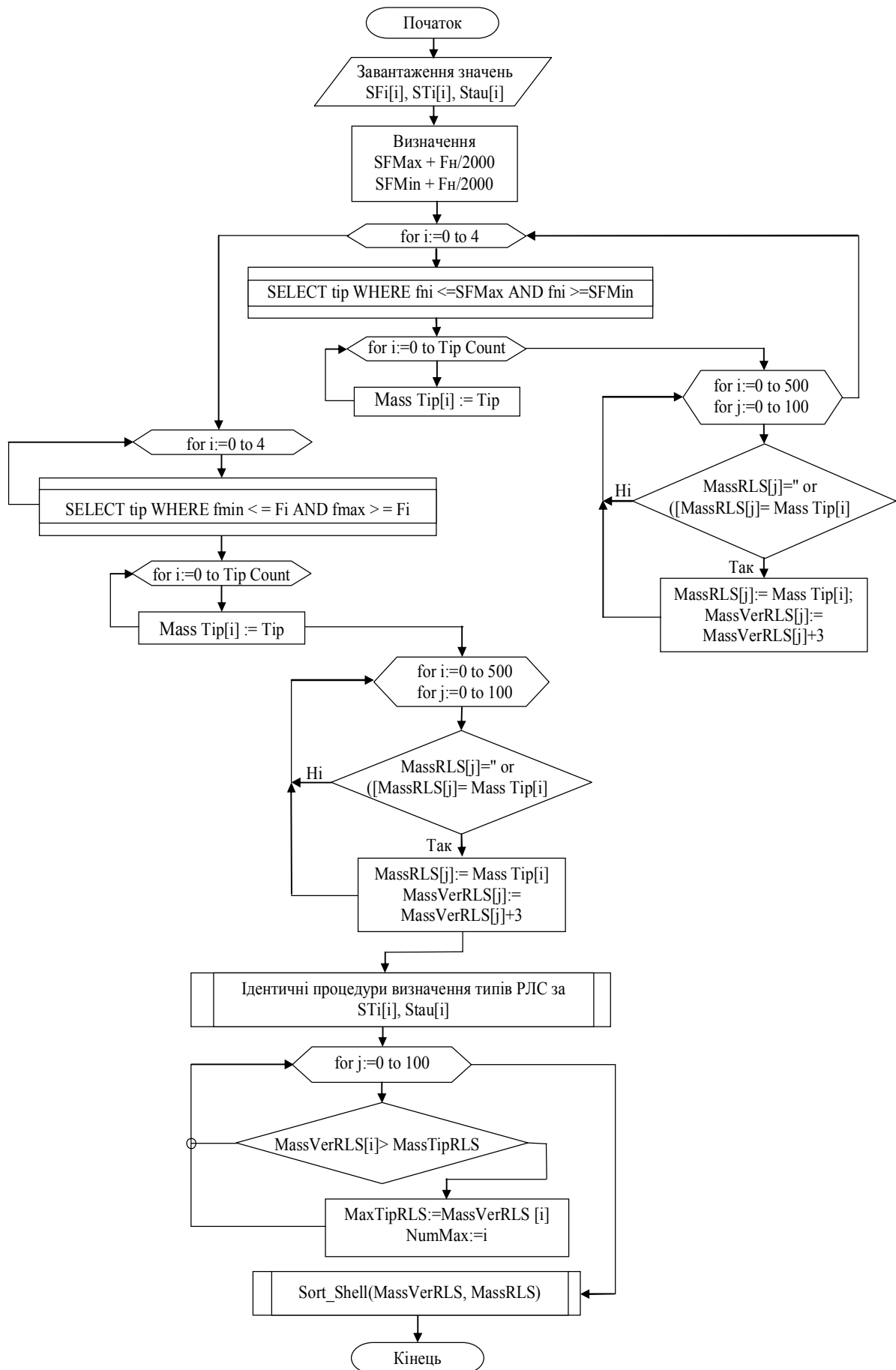


Рис. 6. Частковий алгоритм роботи експертної системи визначення типу ДРВн за параметрами сигналу

На початку роботи алгоритму здійснюється завантаження параметрів, переданих через SOAP до веб-служби. Завантажені параметри підлягають обробці, сутність якої зводиться до визначення допусків за несучою частотою F_H за такими формулами:

$$F_{Hmax} = F_H + (F_H / K_F), \quad (4)$$

$$F_{Hmin} = F_H - (F_H / K_F), \quad (5)$$

де K_F – коефіцієнт допуску, що враховує неточність визначення частоти станцією контролю РЕО. За результатами статистичної обробки експериментальних даних $K_F = 2000$;

F_{Hmax} , F_{Hmin} – максимальне та мінімальне значення несучої частоти з урахуванням коефіцієнта допуску.

Отримані результати використовуються для вибору можливих ДРВП у діапазоні $F_{Hmin} \geq F_H \leq F_{Hmax}$. Після завершення цієї процедури здійснюється пошук ДРВП за параметрами $fmin$ та $fmax$ таблиці `rtr_rls` (пункти 3 та 4 табл. 1).

Сутність пошуку полягає в тому, що з бази даних вибираються усі можливі ДРВП, які знаходяться в діапазоні $fmin \geq F_H \leq fmax$, після чого їх назви заносяться в проміжний масив типів ДРВП. Якщо ж виконується нерівність $fmin \geq F_H \leq fmax$, то ваговий коефіцієнт $P_{r2} = 1$.

Аналогічно працюють два блоки з пошуку відповідності заміряних значень еталонним за T_i (період слідування імпульсів) та τ_i (тривалість імпульсів). При цьому T_{imax} та T_{imin} розраховуються за такими формулами:

$$T_{imax} = T_i + (T_i / K_T), \quad (6)$$

$$T_{imin} = T_i - (T_i / K_T), \quad (7)$$

де K_T – коефіцієнт допуску, що враховує неточність визначення періоду слідування імпульсів станцією контролю РЕО. Результати статистичної обробки експериментальних даних свідчать, що коефіцієнт $K_T = 1000$;

T_{imax} , T_{imin} – максимальне та мінімальне значення періоду слідування імпульсів з урахуванням коефіцієнта допуску.

Значення τ_{imax} та τ_{imin} розраховуються за такими формулами:

$$\tau_{imax} = \tau_i + (\tau_i / K_\tau), \quad (8)$$

$$\tau_{imin} = \tau_i - (\tau_i / K_\tau), \quad (9)$$

де K_τ – коефіцієнт допуску, що враховує неточність визначення періоду слідування імпульсів станцією контролю РЕО. Результати статистичної обробки експериментальних даних свідчать, що коефіцієнт $K_\tau = 2000$;

$\tau_{i,max}$, $\tau_{i,min}$ – максимальне та мінімальне значення тривалості імпульсів з урахуванням коефіцієнта допуску.

Отримані масиви даних (перелік можливих типів ДРВп) підлягають ранжуванню за критерієм убування показників імовірності.

На заключному кроці роботи алгоритму веб-сервісу формується відповідь на запит СППР та здійснюється передача результатів за протоколом SOAP, які виводяться у вигляді таблиці типів ДРВп (рис. 4).

Висновки. У результаті проведеного аналізу запропоновано підхід технічної реалізації СППР щодо визначення типу ДРВп за параметрами перехопленого електромагнітного випромінювання. Впровадження такої СППР дозволить автоматизувати процес визначення типів ДРВп під час виконання завдань операторами станцій контролю РЕО. Це, у свою чергу, зменшить час та підвищить імовірність прийняття правильного рішення операторами станцій щодо ідентифікації типів ДРВп.

Отримані результати будуть використані в подальших дослідженнях удосконалення програмного алгоритму експертного оцінювання сигналу. Це дозволить реалізувати автоматичний режим роботи станції контролю РЕО.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Куприянов А. И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М. : Вузовская книга, 2007. – 355 с.
2. Таунсенд К. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ / К. Таунсенд, Д. Фохт ; пер. с англ. В. А. Кондратенко, С. В. Трубицына – М. : Финансы и статистика, 1990. – 320 с.
3. Ouzzani M. Semantic Web Services for Web Databases / M. Ouzzani, A. Bouguettaya. – Springer : Science+Business Media, 2011. – 155 с.
4. Feilner M. Beginning OpenVPN 2.0.9 / M. Feilner, N. Graf. – Springer, 2009. – P. 34–37.
5. Фаронов В. В. Delphi 5. Руководство разработчика баз данных. / В. В. Фаронов, П. В. Шумаков. – М. : Нолидж, 2000. – 640 с.

Подано 21.12.2017

И. Д. Варламов, М. А. Роговец, С. С. Гаценко, Ю. А. Бучинский **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО** **ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТИПОВ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ**

В статье приведено общее описание алгоритма определения типа источника радиоизлучения по параметрам его сигнала и обоснована целесообразность автоматизации этого процесса. Предложен подход к технической реализации автоматизированной системы поддержки принятия решения по определению типов источников радиоизлучений, который основывается на использовании веб-служб и протоколов SOAP, XML-RPC. Для обеспечения статистической обработки информации рекомендовано использовать систему управления базами данных MySQL в контролируемой зоне без выхода в Интернет. Кроме того, предложены общая архитектура и алгоритм работы экспертной системы определения типа источников

радиоизлучений по параметрам сигнала. Практическая ценность такого подхода заключается в возможности его программной реализации.

Ключевые слова: *радиоэлектронная обстановка, источник радиоизлучения, радиоэлектронное средство, система поддержки принятия решения, веб-сервис, веб-служба.*

I. D. Varlamov, M. A. Rohovets, S. S. Gatsenko, J. A. Buchynsky

AUTOMATED SUPPORT SYSTEM FOR ADOPTION OF THE DECISION FOR THE DETERMINATION OF RADIO VARIATION SOURCES TYPES

In the article the general description of the source radio emission type determination algorithm by the signal parameters and the expediency of automation of this process is substantiated. To this end, an approach to the technical implementation of an automated decision support system for determining the types of radio emission sources is proposed. This approach is based on the use of Web services and protocols SOAP, XML-RPC, etc. To provide statistical information processing, it is proposed to use MySQL database management system in a controlled area without access to the Internet. In addition, the general architecture and algorithm of the expert system for determining the type of radio emission sources according to the signal parameters are proposed. The practical value of the proposed approach lies in the possibility of its program realization.

Keywords: *radio electronic environment, radio frequency source, radio electronic solution, decision support system, web service, web department.*