

*І.В. СВИД, канд. техн. наук, І.І. ОБОД, д-р техн. наук, О.С. МАЛЬЦЕВ,  
М.Г. ТКАЧ, С.В. СТАРОКОЖЕВ, А.О. ГЛУЩЕНКО, В.С. ЧУМАК*

## **МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ «СВІЙ-ЧУЖИЙ» ПРИ ДІЇ НАВМИСНИХ КОРЕЛЬОВАНИХ ЗАВАД**

### **Вступ**

До основних елементів процедури контролю повітряного простору відносяться аналіз повітряної обстановки та прийняття рішень. Слід зазначити, що рішення приймається на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Вірне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна та безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні відповідальності. Таким чином, можна стверджувати, що якість прийняття рішень визначається складом та достовірністю інформації, на основі якої уповноважена особа приймає рішення. Достовірність інформації значною мірою визначається інформаційними ресурсами системи контролю повітряного простору, до яких відносяться радіолокаційні системи спостереження [1 – 3]. Радіолокаційні системи спостереження в системі контролю повітряного простору підрозділяються на первинні та вторинні. Первинні радіолокаційні системи спостереження визначають координати виявленого повітряного об'єкта, а вторинні – оцінюють виявлений повітряний об'єкт за ознакою «свій-чужий», тобто є системами ідентифікації (IFF) [4, 5]. Однак, як показано в [6 – 11], системи IFF, побудовані так, що зацікавлена сторона може несанкціоновано використати цей інформаційний ресурс для подальшого визначення координат повітряних об'єктів, з одного боку, та перекручування інформації цього інформаційного ресурсу, з другого боку, що призводить до жахливих результатів [12, 13].

Система IFF забезпечує спостереження за повітряними об'єктами, обладнаними літаковими відповідачами, і забезпечує двосторонній зв'язок за каналом передачі даних між наземними станціями і повітряними об'єктами [14 – 16]. Система IFF відноситься до основних інформаційних джерел як системи контролю повітряного простору, так і системи управління повітряним рухом. Система IFF повинна вирішувати завдання IFF повітряного об'єкту за ознакою «свій-чужий» як в інтересах визначення ступеня небезпеки виявленого повітряного об'єкта, так і при безпосередньому застосуванні зброї. Рішення завдання радіолокаційної IFF за ознакою «свій-чужий» полягає в ухваленні рішення про виявлення повітряного об'єкта системою IFF «свій-чужий». Імітостійка (криптографічна) ідентифікація повітряних об'єктів, що реалізована в існуючих системах IFF, дозволяє однозначно вирішити питання за ознакою «свій-чужий» і є важливою умовою функціонування єдиного інформаційно-комунікаційного простору. Найбільш вразливим місцем в системах IFF, що істотно обмежує завадостійкість та завадозахищеність IFF повітряних об'єктів, є літаковий відповідач [17, 18]. Він побудований за принципом відкритої одноканальної системи масового обслуговування з відмовами, що викликає труднощі при роботі останніх при значних щільностях потоків внутрісистемних завад [19]. Така побудова літакового відповідача викликає суттєві недоліки в безпеці як його, так і безпеці всієї системи IFF. Використання ж єдиної частоти у запитальному каналі систем, що розглядаються, призводить до високої щільності сигналів запиту і, як наслідок, до внутрісистемних завад [20] значної інтенсивності. Зазначені фактори призводять до зниження якості обробки сигнальних даних. Так, в роботі [21] наводиться характеристика середовища щодо оцінки характеристик сучасних вторинних радіолокаційних приймачів спостереження. Основна увага приділяється параметрам, що дають точну характеристику явищ завад, які суттєво обмежують продуктивність даної системи. В роботах [22 – 25] розглядаються питання оптимального виявлення сигналів запиту при однакових рівнях як сигналів запиту, так і завад, які надходять на літаковий відповідач, що представляє собою ідеальний випадок.

Побудова літакового відповідача за принципом одноканальної системи обслуговування сигналів запиту з відмовами визначила значну часову паралізацію літакового відповідача на час обслуговування попереднього сигналу відповіді, що призводить до суттєвих обмежень як до відносної пропускну здатності літакового відповідача, так і до суттєвого зниження як завадостійкості, так і завадозахищеності літакових відповідачів та і усієї системи IFF.

### **Метод підвищення завадозахищеності радіолокаційних систем ідентифікації повітряних об'єктів за ознакою «свій-чужий»**

Системи IFF призначені для вирішення наступних задач:

- визначення координат повітряного об'єкту;
- радіолокаційної ідентифікації повітряного об'єкту за ознакою «свій-чужий»;
- отримання польотної інформації, яка необхідна для контролю управління польотами та наведення повітряного об'єкту;
- диспетчерської ідентифікації повітряного об'єкту.

Виходячи з принципу функціонування систем IFF, антена відповідача є слабкоспрямованою. Це вносить суттєві недоліки в процес функціонування інформаційних систем, що розглядаються

Імовірність завадозахищеності систем IFF може бути визначена так:

$$P_{zz} = 1 - P_v P_{vim} P_{pr}, \quad (1)$$

де  $P_v$  – імовірність виявлення сигналів відповіді;  $P_{vim}$  – імовірність вимірювання параметрів сигналів;  $P_{pr}$  – імовірність порушення роботи;  $P_v P_{vim}$  – скритність;  $P_{pr}$  – завадостійкість;  $P_{skr} = 1 - P_v$  – імовірність скритної роботи.

Особливістю систем IFF є наявність внутрісистемних завад значної інтенсивності [11]. Дійсно, сусідні системи IFF є джерелами завад для системи IFF, що розглядається. Ці завади проявляються двояко. По-перше, сигнали запиту сусідніх систем IFF закривають літакового відповідача на час обслуговування сигналів запиту, що унеможливує відповідь на сигнали запиту системи IFF, що розглядається. По-друге, випромнені сигнали відповіді літакового відповідача на запити сусідніх систем IFF є завадою для системи IFF, що розглядається. Ці обставини потребують використовувати несинхронну мережу систем IFF. При такій організації мережі ефективним способом захисту систем IFF від сигнали відповіді, викликаних сусідніми системами IFF, є міжперіодна обробка сигналів. Однак побудова систем IFF на принципі несинхронної мережі та відсутність просторової вибіркової літакового відповідача дозволяє зацікавленій стороні або несанкціоновано отримувати інформацію від літакового відповідача, або подавляти систему IFF шляхом постановки навмисних корельованих завад необхідної інтенсивності.

В роботі [12] показано, що без виключення з обслуговування навмисних корельованих завад, якими є імітовані зацікавленою стороною сигнали запиту, досягнути прийнятних показників завадостійкості систем IFF неможливо. При цьому слід зазначити, що наявність навмисних корельованих завад ускладнює рішення задач як виміру координат повітряного об'єкту, так і передачі польотної інформації.

Відомо, що основою для придушення завад є різниця між корисним сигналом та завадою. В існуючих систем IFF реалізовано принцип обслуговування заявки (сигналу запиту), що визначило реалізацію принципу відкритих одноканальних систем масового обслуговування з відмовами при їх побудові. Сама ж мережа систем IFF реалізована на несинхронному принципі. Несинхронна мережа систем IFF дозволяє ефективно подавляти в апаратурі запитувача внутрішньосистемні завади, які утворені сусідніми системами IFF. Однак саме це дозволяє зацікавленій стороні здійснювати паралізацію систем IFF постановкою навмисними корельованих завад. Отже, така реалізація сучасних систем IFF на принципах відкритої

одноканальної системи масового обслуговування з відмовами ускладнює їх використання в конфліктних ситуаціях.

Дійсно, інтенсивність потоку сигналів запиту в існуючих системах IFF можна визначити з виразу

$$\lambda_c = \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i(T_i) + \lambda_1 + \sum_{j=0}^{M-1} \lambda_j(T_j), \quad (2)$$

де  $\lambda_i(T_i)$  – інтенсивність потоку сигналів запиту от  $i$ -го запитувача з періодом повторення  $T_i$ ;  $\lambda_1$  – інтенсивність потоку хибних сигналів запиту, які утворені з хаотичних імпульсних завад та сумарного потоку сигналів запиту своїх запитувачів та хаотичних імпульсних завад (тобто за рахунок хибної тривоги першого та другого роду);  $\lambda_j(T_j)$  – інтенсивність потоку навмисних корельованих завад запитувачами зацікавленої сторони, що пригнічують та несанкціоноване використовують літаковий відповідач, з періодом проходження  $T_j$ . Так як в існуючих системах IFF до обслуговування приймаються всі правильно дешифровані сигнали запиту, то це дозволяє зацікавленій стороні пригнічувати системи IFF постановкою навмисних корельованих завад потрібної інтенсивності.

Таким чином, як впливає з принципу обслуговування, побудови та організації мережі, в сучасних системах систем IFF відсутні просторові та часові відмінності між сигналами і навмисними корельованими завадами, що ускладнює захист інформації зазначених інформаційних ресурсів.

Пошук шляхів спадкоємного переходу до систем IFF з захистом інформації [21] призводить до необхідності створення відмінностей між корисними сигналами та навмисними корельованими завадами. Створення просторових відмінностей, хоча і можливо, проте призводить до значних матеріальних витрат і до складності функціонування таких систем. Іншим методом створення відмінностей між корисними сигналами і навмисними корельованими завадами є часова різниця. Саме часовим розбіжностям приділяється основна увага.

Пошук часових відмінностей між корисними сигналами і навмисними корельованими завадами призводить до зміни принципу організації мережі систем IFF. Перехід від несинхронної до синхронної мережі систем IFF дозволяє штучно створити часові відмінності між корисними сигналами та завадами. При реалізації синхронних мереж систем IFF сумарний потік сигналів запиту можна записати як

$$\lambda_c = \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i(T_0(t)) + \lambda_1 + \sum_{j=0}^{M-1} \lambda_j(T_j), \quad (3)$$

де  $T_0(t)$  – період повторення сигналів запиту, єдиний для всіх синхронних мереж систем IFF. Як впливає з (3), часові різниці між корисними сигналами і навмисними корельованими завадами проявляються в часі надходження. Дійсно, так як шкала часу літакового відповідача узгоджена зі шкалами часу всіх елементів синхронних мереж систем IFF, то корисні сигнали запиту надходять на відповідач в синхронні, а навмисними корельованими завадами – в несинхронні моменти часу.

Таким чином, перехід до синхронних мереж систем IFF дозволяє перевести навмисні корельовані завади в несинхронну заваду, методи захисту від якої достатньо вивчені. Зокрема, одним з найбільш ефективних методів захисту від несинхронних імпульсних завад є міжперіодна обробка сигналів.

Перехід до синхронних мереж систем IFF дозволяє розширити методи обслуговування заявок та методи побудови систем. Розглянемо більш докладно ці принципи.

На рис. 1 наведено метод спадкоємного переходу до завадостійких систем IFF на спадкоємній реалізації синхронної мережі.



Рис. 1. Метод спадкоємного переходу до завадостійких систем IFF

При такій реалізації синхронної мережі реалізується принцип обслуговування абонента на основі виключення з обслуговування сигналів запиту, які є несинхронними до реалізованої мережі. Це дозволило реалізувати закриті системи масового обслуговування з очікуванням та здійснити спадкоємний перехід до завадостійких систем IFF.

Таким чином, за принципом побудови мережі систем IFF діляться на синхронні і несинхронні. Сучасні систем IFF побудовані за принципом несинхронної мережі. Це зумовлено необхідністю захисту запитувачів від внутрісистемних завад у каналі відповіді. Перехід до синхронної мережі систем IFF дозволяє створити часові відмінності між корисними і навмисними корельованими сигналами запиту зацікавленої сторони. Зауважимо, що при модернізації та розробці систем IFF повинен дотримуватися принцип спадкоємності. З цією метою нами і підкреслюється, що перехід до синхронних мереж має бути здійснений так, що в будь-який момент часу може відбутись зворотний перехід.

В синхронній мережі систем IFF робота всіх елементів системи реалізується на єдиному часі мережі. Кожна з вхідних в синхронній мережі систем IFF може бути побудована за принципом обслуговування абонента (запитувача) або обслуговування мережі (всіх запитувачів). У системах IFF, що реалізують перший принцип літакового відповідача, обслуговується конкретний запитувач, а в системах IFF, реалізованих на другому принципі, – обслуговується вся мережа систем IFF.

Основним методом побудови систем IFF з обслуговуванням абонента є запитальні системи IFF, виконані на базі синхронної мережі, де кожен запитувач формує сигнал запиту в строго певний час мережі систем IFF. На літакового відповідача також формується шкала часу, синхронна з єдиною шкалою часу мережі. Отже, в таких систем IFF вдається виключити можливість обслуговування навмисних корельованих завад літаковим відповідачем, а також значно знизити інтенсивність потоку сигналів запиту.

Реалізація синхронного за запитом методу на базі синхронних мережах може наштовхнутися на складності боротьби з синхронними внутрішньосистемними завадами, зумовленими роботою сусідніх запитувачів. Однак цей недолік усувається, як правило, спільною роботою систем первинної та вторинної радіолокації, а також переходом до зміни принципу обслуговування мережі систем IFF.

У запитувальних системах IFF, реалізованих на базі синхронної мережі, можливо управління потоками сигналів запиту. Наявність у літакового відповідача можливості проведення міжперіодної обробки дозволяє стверджувати, що на обслуговування цієї системи IFF надходять тільки сигнали запиту синхронних мереж. Таким чином, сумарний потік сигналів запиту в синхронних мережах запитувальних систем IFF можна оцінити із наступного виразу

$$\lambda_0 = P_0 \lambda_c (T_0(t)). \quad (4)$$

Як впливає з викладеного, управління потоками сигналів запиту в синхронних мережах систем IFF не тільки знижує загальну їх інтенсивність, але і унеможливорює несанкціоноване використання літакового відповідача систем IFF. Усе це дозволяє значно підвищити якість роботи систем IFF та перейти до використання у якості сигналів запиту сигналів з великою базою. Необхідно відмітити, що використання синхронних мереж запитальних систем IFF дозволяє перейти від систем масового обслуговування з відмовами до систем масового обслуговування з очікуванням. В цьому випадку за час спостереження повітряного об'єкту  $T_n$  літакового відповідача може обслужити  $N = \lfloor T_n / T_0 \cdot k \rfloor$  запитувачів, де  $k$  – необхідне число відповідей конкретному запитувачу, яке потрібне для виконання критерію початку пачки.

Основним методом побудови систем IFF з обслуговуванням мережі систем IFF є запитувальні системи IFF з синхронною відповіддю.

Суть цього методу полягає в наступному. Принцип побудови і функціонування каналу запиту не змінюється, тобто залишається таким, як і при використанні на несинхронній мережі. Змінюється принцип обслуговування запиту (заявки). Є час аналізу  $T_a$ , впродовж якого приймаються сигнали запиту літакового відповідача. Сигнали запиту не випромінюються відразу після прийому та дешифрування, а тільки в певний момент, відомий споживачам, що входять в інформаційну мережу. Для випромінювання сигналів запиту необхідно отримати як мінімум один сигнал запиту впродовж інтервалу аналізу.

Час обслуговування усіх заявок, що поступили на інтервалі часу аналізу  $T_a$ , вибирається з умови  $T_{об} = T_{об} - t_p(t)$ , де  $t_p(t)$  – відомий, часовий інтервал, який постійно змінюється. Таким чином, в таких системах незалежно від числа заявок на часовому інтервалі аналізу, вони обслуговуються одночасно у момент часу, наведеному вище. При такій реалізації управління потоками сигналів кодуванню підлягає часовий інтервал  $t_p(t)$ , тоді як при синхронному за запитом методі в синхронних мережах запитувальних систем IFF –  $T_0$ . Незалежно від числа запитувачів число сигналів запиту літакового відповідача при синхронному за відповіддю методі визначатиметься часовим інтервалом аналізу. Це значно знижує потік внутрісистемних завад в каналі відповіді.

Оскільки обслуговуванню підлягає будь-який з сигналів запиту, дешифрований в межах інтервалу часу аналізу, то при роботі систем IFF з синхронною відповіддю можливе отримання необхідної інформації від літакового відповідача як за своїм сигналом запиту, так і за сигналами запиту будь-якого запитувача. Це обумовлено тим, що цей метод реалізує принцип обслуговування мережі. Така побудова систем IFF знімає проблему реалізації розосереджених систем IFF, а також часового узгодження сигналів, що поступають за системами первинної та вторинної радіолокації.

## Висновки

Розглянутий метод спадкоємного переходу до завадостійких систем IFF дозволяє:

- виключити з обслуговування сигнали запиту, імітовані зацікавленою стороною за рахунок міжперіодної обробки сигналів у літаковому відповідачі;
- знизити інтенсивність сигналів запиту, що обслуговуються літаковим відповідачем;
- перейти до використання у якості сигналів запиту сигналів з великою часовою базою, що загалом дозволяє перейти за спадкоємним принципом до завадозахищених систем IFF як основного інформаційного ресурсу системи контролю повітряного простору.

### Список літератури:

1. Stevens. Brian L., Frank L. Lewis, and Eric N. Johnson. Aircraft control and simulation: dynamics, controls design, and autonomous systems. John Wiley & Sons, 2015
2. Маляренко А.С. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания [Справочник]. Харьков : ХУПС, 2007. 78 с.
3. Kim E. and Sivits K. Blended secondary surveillance radar solutions to improve air traffic surveillance // Aerospace Science and Technology. 2015. Vol. 45. P. 203-208.
4. STANAG 4193 Document, Technical Characteristics of IFF Mk X and Mk XII Interrogators and Transponders (Part V). Technical Description of the MkXII System, NATO Standard, 2016.
5. Uzan S. Turan and S. A. Colak. IFF system simulator design based on DSP // 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference, SIU 2016 – Proceedings, 2016. P. 1-4.
6. Benelli G., Giuli D., Mese E. and Pardini S. Characterization of ATC environment for performance evaluation of modern SSR systems // 29th IEEE Vehicular Technology Conference, Arlington Heights, Illinois, USA, 1979. P. 370-377. doi: 10.1109/VTC.1979.1622720.
7. Sharifi-Tehrani O., Sadeghi A. and Razavi S. M. J. Design and Simulation of IFF/ATC Antenna for Unmanned Aerial Vehicle // Majlesi Journal of Mechatronic Systems, vol. 6, no. 1, Jun. 2017.
8. Poornima P., Roja Reddy B. and Anantha Murthy B. G. Design and Simulation of Two-Chain Monopulse Receiver for IFF Radar Application. // 2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), Bangalore, India, 2018. P. 1114-1118. doi: 10.1109/RTEICT42901.2018.9012646.
9. Guofeng Jiang; Yangyu Fan; Hongbo Yuan. Assessing the Capacity of Air Traffic Control Secondary Surveillance Radar System // 2019 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC). DOI: 10.1109/CSQRWC.2019.8799146
10. Svyd I., Obod I., Maltsev O., Tkachova T. and Zavolodko G. Improving Noise Immunity in Identification Friend or Foe Systems // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, 2019. P. 73-77. doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879812.
11. Obod I., Svyd I., Maltsev O. and Bakumenko B. Comparative Analysis of Noise Immunity Systems Identification Friend or Foe // 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020. P. 751-756. doi: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088856.
12. Pollack J. and Ranganathan P. Aviation Navigation Systems Security: ADS-B, GPS, IFF // International Conference on Security & Management, SAM'18, International Conference on Security & Management, SAM'18, Las Vegas, Nevada, USA, 2018. P. 129-135.
13. Strelnytskyi O., Svyd I., Obod I., Maltsev O., Voloshchuk O. and Zavolodko G. Assessment Reliability of Data in the Identification Friend or Foe Systems // 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). Kyiv, Ukraine, 2019. P. 728-731. doi: 10.1109/ELNANO.2019.8783397.
14. Svyd I., Obod I., Maltsev O., Strelnytskyi O., Zubkov O. and Zavolodko G. Method of Increasing the Identification Friend or Foe Systems Information Security // 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT). Lviv, Ukraine, 2019. P. 434-438. doi: 10.1109/AICT.2019.8847853.
15. Svyd I., Obod I., Maltsev O., Shtykh I. and Zavolodko G. Model and Method for Detecting Request Signals in Identification Friend or Foe Systems // 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). Polyana, Ukraine, 2019. P. 1-4. doi: 10.1109/CADSM.2019.8779322.
16. Otsuyama T., Honda J., Naganawa J. and Miyazaki H. Analysis of signal environment on 1030/1090MHz aeronautical surveillance systems // 2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and 2018 IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC). Singapore, 2018. P. 71-71. doi: 10.1109/ISEMC.2018.8394048.
17. Martin Strohmeier. Large-Scale Analysis of Aircraft Transponder Data // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine (Volume: 32, Issue: 1, January 2017). P. 42 – 44. doi: 10.1109/MAES.2017.160149.
18. David S. and Vitolo A. J. Airborne IFF transponder antenna system with Omni and steerable cardioid patterns, Aug. 1970. P. 279-283.
19. Svyd, I.V., Obod, A.I., Zavolodko, G.E., Melnychuk, I.M., Wójcik, W., Orazalieva, S., Ziyatbekova, G. Assessment of information support quality by "friend or foe" identification systems // Przegląd Elektrotechniczny. 2019. Vol. 1, no. 4. P. 129-133. doi: 10.15199/48.2019.04.22.
20. Svyd I., Maltsev O., Obod I. and Zavolodko G. Fusion Method of Primary Surveillance Radar Data and IFF systems Data // 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). Kyiv, Ukraine, 2020. P. 336-340. doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125040.
21. Semenets V., Svyd I., Obod I., Maltsev O. Tkach M. Quality Assessment of Measuring the Coordinates of Airborne Objects with a Secondary Surveillance Radar // Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Vol 69. Springer, Cham. P. 105-125, 2021. Available: 10.1007/978-3-030-71892-3\_5.
22. Svyd I., I. Obod I. Maltsev O. Interference Immunity Assessment Identification Friend or Foe Systems // Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data

Engineering and Communications Technologies. Vol 69. Springer, Cham. P. 287-306, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-71892-3\_12.

23. Обод І.І., Свид І.В. Порівняльний аналіз якості виявлення повітряних об'єктів запитальними системами спостереження // Тематичний збірник «Системи обробки інформації». Вип. 9 (90). Харків : ХУПС, 2010. С. 74-76.

24. Obod I., Svyd I., Maltsev O., Vorgul O., Maistrenko G. Zavolodko G. Optimization of the Quality of Information Support for Consumers of Cooperative Surveillance Systems // Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Vol 48. Springer, Cham. P. 133-155, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-43070-2\_8.

25. Obod I., Svyd I., Maltsev O., Zavolodko G., Pavlova D. Maistrenko G. Fusion the Coordinate Data of Airborne Objects in the Networks of Surveillance Radar Observation Systems // Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 48. Springer, Cham. P. 731-746, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-43070-2\_31.

*Надійшла до редколегії 03.03.2021*

*Відомості про авторів:*

**Свид Ірина Вікторівна** – канд. техн. наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Україна; e-mail: [iryna.svyd@nure.ua](mailto:iryna.svyd@nure.ua); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4635-6542>

**Обод Іван Іванович** – доктор техн. наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Україна; e-mail: [ivan.obod@nure.ua](mailto:ivan.obod@nure.ua); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9898-0937>

**Мальцев Олександр Сергійович** – Харківський національний університет радіоелектроніки, старший науковий співробітник кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Україна; e-mail: [aleksandr.maltsev@nure.ua](mailto:aleksandr.maltsev@nure.ua); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1520-9280>

**Ткач Марія Геннадіївна** – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Україна; e-mail: [mariia.zavorotna@nure.ua](mailto:mariia.zavorotna@nure.ua); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4248-7633>

**Старокожев Святослав Валерійович** – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Україна; e-mail: [sviatoslav.starokozhev@nure.ua](mailto:sviatoslav.starokozhev@nure.ua)

**Глущенко Артем Олександрович** – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Україна; e-mail: [artem.hlushchenko@nure.ua](mailto:artem.hlushchenko@nure.ua)

**Чумак Валерія Сергіївна** – Харківський національний університет радіоелектроніки, лаборант кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Україна; e-mail: [valeriia.chumak@nure.ua](mailto:valeriia.chumak@nure.ua); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2403-020X>