

УДК 621.399

Д.Ю. Свистунов

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## СПОСОБИ ЦИФРОВОГО ЗАПИСУ ТА ВІДТВОРЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ОГЛЯДОВИХ РАДІОЛОКАТОРІВ СТАРОГО ПАРКУ

*На основі аналізу існуючих засобів, за допомогою яких можливо здійснювати об'єктивний контроль сигнально-завадової обстановки в радіолокаційних станціях старого парку (типу П-18, 5Н84А, П-37) радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України запропоновано два способи запису первинної радіолокаційної інформації для РЛС з аналоговим виходом з урахуванням новітніх цифрових технологій. Один з них базується на використанні професійних цифрових фотоапаратів, а інший на – розробці та використанні нового апаратно-програмного комплексу реєстрації та відтворення радіолокаційних сигналів для РЛС. Останній спосіб дозволяє розробити відповідний пристрій об'єктивного контролю для використання його у військових умовах.*

**Ключові слова:** радіолокаційна станція, індикатор кругового огляду, повітряний об'єкт, об'єктивний контроль.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Об'єктивний контроль дій військ (сил) по повітряних суднах у Повітряних Силах Збройних Сил України здійснюється згідно з "Інструкцією з організації та здійснення об'єктивного контролю у Повітряних Силах Збройних Сил України", затвердженою наказом командувача Повітряних Сил Збройних Сил України від 27.01.06 №27.

В радіотехнічних військах (РТВ) основним способом об'єктивного контролю радіолокаційних даних та дій обслуг є фотоконтроль та запис мовної інформації. Об'єктами об'єктивного контролю первинної радіолокаційної інформації для радіолокаційних станцій (РЛС) старого парку (з так званним аналоговим виходом) є екрани індикаторів кругового огляду (ІКО). У разі здійснення об'єктивного контролю фотографування екранів ІКО з метою фіксування відображуваної повітряної обстановки має здійснюватися плівковими фотокамерами безперервно шляхом чергування знімків з довготривалою експозицією (до 5 хвилин).

Інструкцією визначено наступний порядок здійснення фотоконтролю. Фотографування екранів індикаторів кругового огляду радіолокаційних станцій виявлення і наведення з метою фіксування повітряної обстановки здійснюється безперервно шляхом чергування знімків з довготривалою експозицією (4–5 хвилин для РЛС сантиметрового діапазону, 2–3 хвилини для РЛС метрового та дециметрового діапазонів) та з короткою експозицією (час двох обертів розгортки екрана ІКО). Знімки з короткою експозицією виконуються під час натиснутої кнопки "Запит" апаратури системи державного розпізнавання.

Під час роботи РЛС в умовах радіозавод середньої і сильної інтенсивності, а також під час радіо-

локаційного проведення повітряних цілей на висотах менше як 500 метрів фотографування ІКО здійснюється через кожні дві хвилини з експозицією не менш як 30 секунд.

Темп фотографування екранів РЛС виявлення та наведення повинен збільшуватися у разі різкого маневрування повітряної цілі.

Для прив'язки фотознімків за часом та місцем у кадрі знімку повинні знаходитися годинник і табличка (для цифрових фотокамер виставляється дата та час фотографування на передньому плані фотознімку), у якій вказуються дата та об'єкт фотографування, а також дійсне найменування об'єднання, з'єднання, військової частини (підрозділу).

На РЛС звітними документами є: фотоплівки екранів РЛС із експозицією 2–3 хв із інтервалом 5 хв (у завадах короткою експозицією й дискретністю – 2 хв).

Для фотоконтролю звичайно використовуються кінонегативні та фотонегативні плівки, які мають сенсифілізаційні та резольвометричні характеристики, що наведені у табл. 1 [1]. Остання характеристика – кількість елементів, що розрізняються і можуть бути зафіксовані лінійно на вузьку сторону кадру плівки, – є розрахунковою. Фотонегативна аматорська 35-мм плівка використовується у побутових фотокамерах, розмір кадру 24×36мм.

У реєструючих фотокамерах (РФК) використовується рулонна кінонегативна 35-мм плівка, розмір кадру 18×24мм.

Недоліками ведення об'єктивного контролю за допомогою плівкових фотокамер є:

– велика частка, як правило, непрофесійної ручної праці під час оброблення та формування матеріалів об'єктивного контролю, що приводить до збільшення похибок та збільшення часу отримання результатів;

Таблиця 1

Параметри фотографічних плівок

Тип та марка	Чутлив., од. (ГОСТ 10691)	Розрізнявальна здатність, лін/мм	Кількість ліній (на ширину кадру)
Фотонегативна Фото-32	32	116	2784 (24 мм)
Фотонегативна Фото-65	65	92	2208 (24 мм)
Фотонегативна Фото-130	130	75	1800 (24 мм)
Кінонегативна КН-2	32	100	1800 (18 мм)
Кінонегативна КН-3	100	78	1404 (18 мм)

– ускладнення процесу обробки матеріалів об'єктивного контролю (наприклад, неякісна фотоплівка або хімікати, що використовуються для її обробки, можуть привести до втрати результатів об'єктивного контролю, при цьому під час здійснення об'єктивного контролю неможливо виявити стан носіїв);

– зайві витрати видаткових матеріалів.

Також відомо, що сучасні тенденції розвитку засобів фотографування спрямовані на відмову від плівкових технологій. Тому у військах на цей час все більш проблематично забезпечувати проведення фотоконтролю, технічні можливості щодо його організації, фотоматеріали й відповідні засоби їх обробки практично відсутні.

Тому необхідно шукати нові методи реєстрації первинної радіолокаційної інформації, які б дозволяли реалізувати сучасні вимоги до об'єктивного контролю.

Розвиток цифрової техніки та інформаційних технологій приводить до необхідності перегляду методів і засобів об'єктивного контролю, що використовуються в РЛС РТВ, з метою підвищення якості ведення ОК та оперативності обробки його матеріалів за рахунок використання переваг та досягнень сучасних технологій.

Тому **мета статті** полягає в аналізі технічних можливостей сучасних цифрових засобів, за допомогою яких можливо здійснювати об'єктивний контроль та визначенні найбільш пріоритетного способу реєстрації інформації, які б дозволяли повною мірою реалізувати існуючі вимоги до об'єктивного контролю.

## Виклад основного матеріалу

**Аналіз можливостей використання для фотоконтролю цифрових фотокамер.** Спочатку проведемо розрахунки потрібної якості фотоматриці цифрової фотокамери (ЦФК) для умов:

– фотоконтролю з якістю, яка відповідає якості відображення електронно-променевої трубки індикаторів РЛС;

– фотоконтролю за допомогою плівкової фотокамери з використанням вітчизняної плівки;

– фотоконтролю за допомогою РФК, що має менший розмір кадру і тому гіршу якість зйомки.

Максимальний діаметр  $L$  екрану індикаторів кругового огляду РЛС складає 45 см (450 мм). Реальна роздільна здатність електронно-променевих трубок  $dL = 0,2$  мм (згідно з [4] – не менше 0,4 %) . Звідси максимальна кількість елементів в межах діаметру екрану  $N_E = L/dL = 2250$ .

З урахуванням того, що на кадрі фотоконтролю лінійний розмір екрану РЛС займає приблизно 80% (коефіцієнт використання кадру  $k_K = 0,8$ ), кількість елементів, які потрібно фіксувати з якістю, що відповідає розрізнявальній спроможності ІКО, складає  $N_\Phi = N_E / k_K = 2812$ .

Можна бачити, що якість реєструючого плівкового фотопристрою близька до потрібної лише за умови використання кадру розміром  $24 \times 36$  мм (табл. 1).

ЦФК на відміну від плівкових камер мають формат кадру з відношенням короткої сторони до довгої 3:4. Тому потрібний розмір матриці в мегапікселях розраховується як

$$N_M = 4/3 N_\Phi^2 / 10^6 \quad (1)$$

і складає:

– для реєстрації з розрізненням кожного елементу екрану ( $k_K = 0,8$ ) – 10,5 Мп;

– для реєстрації з розрізненням кожного елементу екрану ( $k_K = 1$ ) – 6,75 Мп;

– для реєстрації з якістю плівкового фотоапарату ( $k_K = 0,8$ ) – 6,75...16,1 Мп, у залежності від типу фотоплівки, див. табл. 1;

– для реєстрації з якістю плівкового фотоапарату ( $k_K = 1$ ) – 4,3...10,3 Мп, у залежності від плівки;

– для реєстрації з якістю РФК ( $k_K = 0,8$ ) – 4,1...6,75 Мп, у залежності від типу кінонегативної плівки, див. табл. 1;

– для реєстрації з якістю РФК ( $k_K = 1$ ) – 2,6...4,3 Мп, у залежності від типу кінонегативної плівки, див. табл. 1.

Більшість ЦФК має автоматичний режим зйомки, при цьому максимальний час експозиції складає декілька секунд (до 3...4). На рис. 1 показаний результат зйомки екрану ІКО за допомогою ЦФК Olympus 770UZ (матриця 4 Мп) в автоматичному режимі, час експозиції складав близько 0,5 с. Знятою виявляється лише мала частина огляду. На рис. 2 знятий екран ІКО в ручному режимі з експозицією 10 с. Практика показала, що потрібний також ручний режим фокусування, без якого наведення на різкість здійснюється перед кожною зйомкою, і не завжди вона є точною. У середньому точне фокусування спостерігається лише в одному з трьох кадрів.

Цифрова техніка фотографування як спосіб документування має такий суттєвий недолік, як можливість модифікування (підробки) зображення за допомогою графічних редакторів.

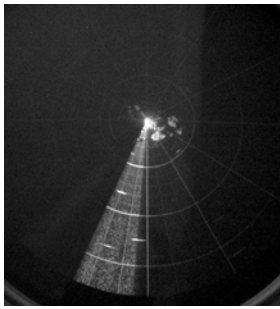


Рис. 1. Вигляд індикатора кругового огляду з короткою експозицією

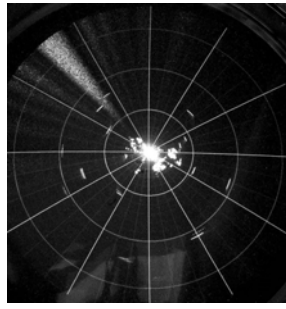


Рис. 2. Вигляд індикатора кругового огляду з тривалою експозицією

У якості ілюстрації на рис. 3 показаний вигляд початкового кадру, на рис. 4 – модифікованого. Редактором Photoshop усунути цілі 1 і 2, додані цілі 3 і 4, змінений час зйомки.

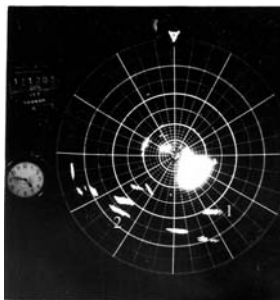


Рис. 3. Початковий кадр

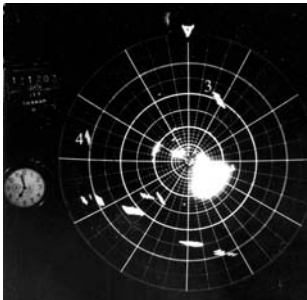


Рис. 4. Відредагований кадр

Таким чином, для використання цифрових фотокамер як засобів об'єктивного контролю на РЛС вони повинні задовольняти наступним вимогам:

- мати необхідну роздільну здатність;
- мати можливість ручного установлення режимів роботи (витримки, діафрагми й ручного наведення різкості зображення) з відключенням автоматичної установки експозиції й наведення на різкість;
- режим примусового відключення фотоспалаху;
- можливість установки додаткової пам'яті (флеш-карти) для зйомки більше 30 хв;
- можливість живлення від зовнішнього джерела;
- наявність режиму тривалої експозиції (30 с);
- режим програмної зйомки із заданою витримкою й діафрагмою;
- можливість ведення автоматичної по кадрової зйомки без участі оператора.

Аналіз продукції одного з найбільших і відомих постачальників цифрових фотокамер в Україні – фірми «UNITRADE» (сайт [www@unitrade.ua](http://www@unitrade.ua)) показав наступне.

1. Вимогам по розв'язній здатності (кількості пікселів у матриці (не менш 5...6 Мп) задовольняють всі типи цифрових фотокамер незалежно від моделі, фірми виробника й типу, що наявні в цей час у продажу.

2. Вимогам по наявності режиму тривалої експозиції задовольняють тільки окремі цифрові камери наступних виробників і типів:

- Canon EOS 400D (4598 грн.);

- Sony DSC-R1 (3988 грн.);
- Samsung Digimax Pro 815 (3688 грн.);
- Minolta Dimage A200 (3185 грн.);
- Minolta Dynax 5D (4265 грн.);
- Pentax ist DL (3910 грн.).

3. Цифрові камери фірм FUJI, Kodak, Panasonic, Olimpus не мають необхідної тривалості експозиції (крім професійних дзеркальних).

4. Камери типів Sony DSLR -A100, Nikon D70s, Nikon D80 хоча й мають необхідний діапазон витримки, але не мають режиму ручної установки експозиції.

5. Усім вимогам задовольняють тільки професійні дзеркальні камери, вартість яких складає від 1000 \$.

6. Режиму програмної зйомки із тривалою витримкою не має жодна із цифрових камер.

**Аналіз можливостей використання для об'єктивного контролю спеціального програмно-апаратного комплексу запису-відтворення радіолокаційної інформації.** Сучасні технології й елементна база дозволяють шляхом відповідних перетворень здійснювати запис, зберігання й відтворення в реальному часі електричних процесів, в тому числі тих, що надходять на ІКО з виходу відеопідсилювача для відтворення на екрані. Для кожного типу РЛС і типу місцевості (позиції), на якій вона розгорнута, параметри візуалізованих електричних процесів (параметри сигналів, завад, службових відміток) можуть істотно різнитися. Ці обставини слід брати до уваги при розробці нової системи контролю.

Програмно-апаратний комплекс реєстрації сигналів РЛС старого парку повинен задовольняти наступним вимогам:

- забезпечувати характеристики (роздільну здатність, кількість елементів розрізнення, динамічний діапазон, час реєстрації, наявність додаткових елементів ідентифікації інформації) не гірше існуючої системи об'єктивного фотоконтролю;
- забезпечувати захист інформації від модифікації та несанкціонованого доступу;
- забезпечувати виключення перекручування інформації при записі, збереженні та переносі;
- забезпечувати контроль цілісності та можливого втручання на етапі збереження і переносу інформації;
- забезпечувати можливість відображення результатів запису та отримання паперових копій на стандартних елементах офісної техніки (ПЕОМ, принтер);
- мати невисоку вартість носія інформації (по можливості);
- мінімальність додаткового обладнання;
- автономність використання.

Висунення вимог до пристрою реєстрації сигналів, які відображаються на індикаторі кругового огляду РЛС старого парку, має спиратися на можли-

вості ІКО по відображенню. Згідно [4] на ІКО повинні подаватися сигнали з параметрами, які наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Параметри сигналів РЛС старого парку

№	Сигнали та параметри	Значення
1	МАІ: кількість полярність амплітуда тривалість навантаження	4096 позитивна (2...5) В більше 100 мкс 75 Ом
2	Аналогові сигнали кутового положення: амплітуда канали	(5±0,1) В ГО:ТО=1:36
3	Відео: амплітуда динамічний діапазон	(3...5) В більше 8
4	Запуск: полярність амплітуда тривалість	позитивна більше 2 В більше 1 мкс
5	Роздільна здатність δ	0,4 % від діаметру екрана

Індикатори кругового огляду не повною мірою реалізують потенційні можливості сигналів з виходу відеопідсилювача, тобто динамічний діапазон, можливості по роздільній здатності, кількості елементів розрізнення. Це пов'язано з обмеженими можливостями електронно-променевих трубок – розмірами плями, інерційністю, можливостями люмінофору відтворювати електричні сигнали у світловий потік. Так, динамічний діапазон на виході приймального тракту (на виході відеопідсилювача) складає 25...30 дБ, а динамічний діапазон ІКО є значно нижчим. Крім того, якість відображення і, як наслідок, якість об'єктивного контролю залежать від настроювання ІКО. Тому можливими є два підходи до реєстрації з метою об'єктивного контролю. Перший – закругити параметри сигналів до параметрів, які забезпечує ІКО, тобто повторити при реєстрації можливості ІКО, а саме – реєструвати дані, які відповідають роздільним здатностям РЛС за дальністю та азимутом. У межах елемента розрізнення по азимуту здійснюється накопичення сигналів у суміжних періодах повторення, що виключає пропуск інформації. Другий – реєструвати увесь потік сигналів зі збереженням їх якості. При реалізації першого підходу потребується значно менший обсяг пам'яті. Другий підхід дозволяє після реєстрації та відтворення інформації з використанням пристрою відображення, характеристики якого перевищують характеристики ІКО, отримати більш якісну картину повітряної обстановки.

Приймаючи до уваги, що об'єктивний контроль має проводитися з максимально можливою якістю, а

також те, що при оцифровуванні луна-сигналу з виходу РЛС його динамічний діапазон не перевищує одного байту, апаратуру доцільно будувати за другим варіантом.

Оцінимо потрібну розрядність подання даних та обсяг пам'яті для запису повітряної обстановки для РЛС заданих типів: 5Н84А, П-18, П-37. Радіолокаційні станції П-37 та 5Н84А мають режими запуску "РЕДКИЙ" та "ЧАСТЫЙ". Перший режим запуску в РЛС 5Н84А використовується в основному для виявлення космічних об'єктів, тому для потреб РТВ розглядати його не будемо. Для РЛС П-37 будемо розглядати обидва режими роботи, відповідно "П-37Р" та "П-37Ч".

Розрахуємо кількість елементів розділення за один оберт антени:

$$N = k_p \cdot T_{огл} \cdot F_n, \quad (2)$$

де  $k_p = M / \tau_d$  – кількість елементів розділення по дальності;

$F_n$  – частота повторення;

$T_{огл}$  – період огляду по азимуту;

$\tau_d$  – тривалість дискретності по дальності, км;

$M$  – масштаб дальності, км.

Для повного відтворення аналогових сигналів з цифрової форми, згідно з теоремою Котельникова, необхідно щоб тривалість інтервалу дискретування  $\tau_d$  була не більше половини тривалості імпульсу зондування  $\tau_z$ , для розрахунків приймаємо  $\tau_d = \tau_z / 2$ .

Дані для розрахунку та відповідні результати наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Параметри індикаторів РЛС старого парку

№	Параметр	Тип РЛС			
		5Н84А	П-18	П-37Р	П-37Ч
1	$\tau_d$ , мкс	5	3	1,35	0,85
2	Масштаб індикатора	600	365	350	170
3	Частота повторення, Гц	185	330	333	666
4	Період огляду по азимуту, с	10	10	10	10
5	Кількість елементів розділення за оберт антени, млн.	1,48	2,92	5,75	5,46

Таким чином, якщо накопичувач інформації має об'єм 2 Гб, що відповідає інформаційній ємності найбільш поширених сучасних флеш-накопичувачів, то безперервний час запису інформації про повітряну обстановку буде складати приблизно: для РЛС 5Н84А – 3 год. 45 хв., для РЛС П-18 – 2 години, для РЛС П-37 в режимах "РЕДКИЙ" та "ЧАСТЫЙ" – 1 годину.

Для накопичувача на жорсткому магнітному диску об'ємом 160 Гб час безперервного запису інформації буде складати відповідно для РЛС 5Н84А –

300 годин, для РЛС П-18 – 150 годин, для РЛС П-37 в режимі "РЕДКИЙ" та "ЧАСТЫЙ" – 80 годин.

У разі запису інформації в режимі об'єднання, тобто накопичення інформації за кілька обертів, час безперервного запису інформації зростає у відповідну кількість разів. Наприклад, при запису інформації з накопиченням на інтервалі 1 хвилина час безперервного запису інформації збільшується у 6 разів.

Кількість розрядів квантування луна-сигналів доцільно обирати, виходячи з динамічного діапазону сигналів на вході пристрою запису. Для реєстрації сигналів з динамічним діапазоном 30 дБ достатньо лише 5 розрядів квантування. Але з урахуванням можливості накопичення сигналів на інтервалі часу до 5 хвилин потрібний динамічний діапазон пристрою зростає ще на 18 дБ. Таким чином, потрібна розрядність пристрою квантування складає 8 біт або один байт. Для кожного типу РЛС, як видно з табл. 3, параметри сигналів різні, тому для забезпечення сумісності масивів даних сигналів, що записані на різних типах РЛС, доцільно обирати різну дискретність представлення даних. Орієнтовна вартість макету пристрою (без врахування вартості ПЕОМ) – 1...2 тисячі гривень. Формування звітних документів можливо здійснювати по зареєстрованих записах з використанням пристроїв стандартної офісної техніки в друкованому вигляді.

В дійсний час в Науковому центрі Повітряних Сил Харківського університету Повітряних Сил ведуться роботи по розробці макету апаратно-програмного комплексу на базі комп'ютера для запису та відтворення радіолокаційної інформації від радіолокаційних станцій типу П-37, 5Н84А, П-18.

### Висновки

Таким чином, необхідним вимогам для використання як засіб об'єктивного контролю на РЛС обмежено задовольняють тільки одиничні професійні фотокамери вартістю більше 3000 грн з використан-

ням їх у режимі покадрової зйомки оператором. З урахуванням необхідного модуля пам'яті ціна такого фотоапарата становить більше (3500 – 4000) грн. При цьому інформація з цифрових фотокамер не захищена від модифікації (підробки), яку можливо легко зробити з допомогою звичайних графічних редакторів ПЕОМ, і тому така інформація не може вважатись об'єктивною. Для забезпечення неможливості модифікації (внесення змін) зареєстрованої інформації необхідно забезпечити виконання стандартних процедур, передбачених при ідентифікації електронного підпису, тобто поточного перетворення елементів запису методом гамування згідно [2], або створення імітовставки згідно [3], і алгоритму зворотного перетворення для формування звітних документів. Для цього доцільно розробити та використовувати спеціальний пристрій документування радіолокаційної інформації.

### Список літератури

1. Журба Ю.И. Краткий справочник по фотографическим процессам и материалам / Ю.И. Журба. – М.: Искусство, 1990. – 256 с.
2. ГОСТ 34.310-95. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Процедуры выработки и проверки электронной цифровой подписи на базе асимметричного цифрового алгоритма. Веден в действие в качестве государственного стандарта Украины приказом Госстандарта Украины от 21.10.97 г. №640. – К.: Изд-во стандартов, 1998. – 15 с.
3. ГОСТ 28147-89. Системы обработки информации. Алгоритм криптографического преобразования. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 25 с.
4. ГОСТ 25657 Индикаторы кругового обзора для наземных радиолокационных станций. Типы, основные параметры, технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 12 с.

Надійшла до редколегії 11.02.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. наук. співр. В.О. Василець, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### СПОСОБЫ ЦИФРОВОЙ ЗАПИСИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ОБЗОРНЫХ РАДИОЛОКАТОРОВ СТАРОГО ПАРКА

Д.Ю. Свистунов

На основе анализа существующих средств, с помощью которых возможно осуществлять объективный контроль сигнально-помеховой обстановки в радиолокационных станциях старого парка (типа П-18, 5Н84А, П-37) радиотехнических войск Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины предложены два способа записи первичной радиолокационной информации для РЛС с аналоговым выходом с учетом новых цифровых технологий. Один из них базируется на использовании профессиональных цифровых фотоаппаратов, а другой – на разработке и использовании нового апаратно-программного комплекса регистрации и восстановления радиолокационных сигналов РЛС. Последний способ позволяет разработать соответствующее устройство объективного контроля для использования его в войсковых условиях.

**Ключевые слова:** радиолокационная станция, индикатор кругового обзора, воздушный объект, объективный контроль.

### METHODS OF DIGITAL RECORD AND RECREATION OF RADAR SIGNALS OF SURVEY RADIO-LOCATORS OF OLD PARK

D.Y. Svystunov

On the basis of analysis of existent facilities by which it is possible to carry out objective control of signal-interference environment in the radar stations of old park (as П-18, 5Н84А, П-37) of radar troops of Aircrafts of Military Powers of Ukraine two methods of record of primary radar information are offered for RLS with an analog output taking into account the newest digital technologies. One of them is based on the use of professional digital cameras, and other on development and drawing on the new hardware-programmatic complex of registration and recreation of radar signals for RLS. The last shift allows to develop the proper device of objective control for the use of him in soldiery terms.

**Keywords:** radar station, indicator of spin-scan, air object, objective control.