

Зуєв О.В., к.т.н.  
Яшанов І.М.,  
Мусієнко А.О.

## ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ, НАВІГАЦІЇ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Інститут аеронавігації  
Національного авіаційного університету

*Проаналізовано сучасні засоби зв'язку, навігації та спостереження. Наведені рекомендації щодо можливих варіантів модернізації систем експлуатації цих засобів*

### **Вступ**

Безпека й регулярність польотів повітряних суден в значній мірі визначається радіотехнічними засобами забезпечення польотів. За допомогою радіотехнічних засобів вирішуються такі завдання, як керування рухом повітряних суден, запобігання конфліктних ситуацій у повітрі, забезпечення безпечних інтервалів між повітряними судами, здійснення своєчасних заходів щодо надання допомоги екіпажам при особливих випадках у польоті тощо. Якість функціонування засобів зв'язку, навігації та спостереження (ЗНС) визначається сукупністю його властивостей, що характеризують їх здатність виконувати певні функції відповідно до власного призначення. Однією із властивостей засобів, що визначають безпеку повітряного руху, є надійність. Надійність функціонування ЗНС забезпечується системою їх експлуатації.

### **Постановка завдання**

Аналіз теоретичних результатів та практика експлуатації сучасних засобів ЗНС свідчать про необхідність широкого застосування інформаційних технологій для обробки експлуатаційних даних щодо роботи цих засобів та подальшої модернізації системи експлуатації (СЕ).

Засоби контролю сучасних ЗНС дозволяють отримати великий обсяг даних про їх технічний стан (ТС), але алгоритми обробки цих даних не передбачені. Цей факт призводить до обмеження можливостей оптимізації процесів експлуатації ЗНС. Реальні умови експлуатації конкре-

тних засобів також враховуються не в повній мірі. Тобто, інформаційні технології для аналізу власне процесів експлуатації практично не застосовуються, що не дозволяє цілеспрямовано та ефективно вдосконалювати СЕ.

Побудова СЕ може базуватися на реалізації системного та процесного підходів. Ці процеси повинні здійснюватися у керованих та контрольованих умовах, що передбачає здійснення регулювання параметрів окремих засобів та складових їх СЕ. Ця стратегія дій є адаптивним підходом до управління експлуатаційними процесами. Для реалізації адаптивної експлуатації доцільно реалізувати наступні заходи: виявити основні фактори, які бажано враховувати для реалізації адаптивної експлуатації; визначити основні функції СЕ засобів ЗНС; обґрунтувати основні дії та операції, які необхідно виконати під час експлуатації (контроль, регулювання тощо); проаналізувати схеми інформаційної взаємодії окремих складових СЕ; розглянути можливі варіанти оцінки ефективності від застосування адаптивної експлуатації.

### **Основна частина**

Система експлуатації включає сукупність виробів, засобів експлуатації, виконавців і документації, що встановлює правила їх взаємодії для виконання завдань експлуатації. Основними функціями СЕ засобів ЗНС є: організація, координація й контроль технічної експлуатації об'єктів і засобів ЗНС; проведення організаційно-технічних заходів щодо модерні-

зації, підтримки експлуатаційної готовності й продовженню терміну служби засобів ЗНС; планування, організація, координація й контроль робіт із сертифікації служб і об'єктів ЗНС і авіаційного електрозв'язку; планування, координація й контроль за проведенням льотних перевірок ЗНС; організація й контроль робіт з підвищення кваліфікації фахівців служб ЗНС; удосконалення й впровадження нових методів організації роботи, у тому числі на основі використання сучасних інформаційних технологій.

Одним із процесів експлуатації є процес технічного обслуговування. Процес технічного обслуговування засобів ЗНС відноситься до класу складних систем. Аналіз показує, що для процесів технічного обслуговування характерна наявність всіх ознак складної системи. Дійсно, у ній взаємодіє велика кількість різномірних елементів, що мають єдину функціональну мету – радіотехнічне забезпечення виробничої діяльності авіапідприємства.

Аналіз відмов засобів ЗНС показує, що в конструкції багатьох типів є порівняно невелике число елементів з підвищеною інтенсивністю відмов. Хоча число таких елементів звичайно невелике в порівнянні із числом масових елементів. Більша інтенсивність відмов цих елементів призводить до погіршення показників надійності, що у свою чергу негативно впливає на безпеку й регулярність польотів. Відмови таких елементів найчастіше носять раптовий характер. Для сучасних засобів ЗНС характерна висока надійність завдяки новій елементній базі і системам автоконтролю параметрів. Тому вони потребують принципово нових підходів до технічного обслуговування.

У даний час іде поступова заміна старих засобів ЗНС на нові. Зокрема системи посадки СП-200, моноімпульсних аеродромних / трасових радіолокаторів ATCR-33S / SIR-S, радіолокаторів MSSR.

Особливість експлуатації нових засобів ЗНС полягає у забезпеченні дистанційного керування, контролю параметрів і діагностики окремих блоків засобу. Для

виконання цих функцій в складі сучасних систем присутні програмні комплекси. У цілому вони забезпечують:

- безперервне керування режимами роботи обладнання;
- контроль стану основних параметрів;
- відображення контрольних параметрів у режимі реального часу або ретроспективі на екрані монітора комп'ютера;
- можливість установки й корегування основних параметрів;
- можливість установки порогів аварійних значень апаратури допускового контролю;
- проведення процедури влаштування контролю технічного стану;
- контроль поточного часу, дати, напруження;
- можливість фіксації й реєстрації змін стану та причин, що їх викликали.

Технічне обслуговування (ТО) сучасних ЗНС здійснюється комбінованим способом. В основу ТО покладено метод «за станом», тобто метод, при якому роботи з ТО виконуються залежно від фактичного стану ЗНС, обумовленого значеннями контрольованих параметрів. Разом з тим, призначаються окремі види робіт з календарного плану залежно від терміну служби (сезонне обслуговування).

Типовий регламент ТО засобів ЗНС передбачає наступні основні заходи:

- контроль параметрів апаратури;
- профілактику механічної частини апаратури;
- усунення несправностей апаратури;
- облік результатів контролю й пророблених робіт.
- перевірка стану антенних пристроїв (у тому числі очищення від пилу й забруднень, поточний ремонт антенних пристроїв);
- перевірка температурного режиму;
- перевірка напруг основної й резервної мереж;
- контроль параметрів основної апаратури;

- перевірка сигналізації й положення органів керування;
- перевірка працездатності пристроїв допускового контролю, автоматичного перемикачів комплектів апаратури з основного на резервний;
- перевірка лінії зв'язку для дистанційного керування;
- перевірка напруг аварійних джерел живлення (акумуляторних батарей), перевірка резервних джерел живлення;
- перевірка наявності й комплектності запасних частин, технічної документації, видаткових матеріалів, протипожежного інвентарю;
- перевірка параметрів окремих блоків ЗНС;
- калібрування тракту контролю;
- калібрування апаратури допускового контролю, перевірка порогів спрацьовування пристроїв контролю засобів ЗНС;
- льотна перевірка параметрів засобів ЗНС.

Система експлуатації засобів ЗНС виконує функції, пов'язані з керувальними впливами щодо підвищення ефективності функціонування цього засобу у частині забезпечення потрібних рівнів показників надійності. Тому в загальному випадку модернізація засобів ЗНС впливає на ефективність використання цих засобів і в свою чергу на забезпечення безпеки і регулярності польотів.

Вирішення задач створення нових та модернізації існуючих СЕ можна виконувати з використанням теорії проектних рішень.

В цілому можна використовувати три стратегії формування проектних рішень:

- достатньої ефективності;
- оптимізації;
- адаптивності.

Характерною рисою адаптивних СЕ є наявність можливості одержання додаткових відомостей про умови функціонування системи за поточною інформацією з її використанням у процесі керування.

За допомогою адаптивної СЕ можна досягнути наступні переваги:

- мати високу гнучкість, що дозволяє швидко змінювати свої параметри;
- мати високу мобільність у прийнятті управлінських та корегувальних рішень;
- бути адекватною до поточної ситуації;
- враховувати вимоги до рівня кваліфікації персоналу;
- враховувати ризики, пов'язані з можливими переналаштуваннями;
- брати до уваги фактори, пов'язані з характеристиками зовнішнього середовища тощо.

Під час проектування систем адаптивної експлуатації доцільно вирішити задачі з оптимізації окремих складових ТО: контролю ТС ЗНС; регулювання визначальних параметрів ЗНС шляхом реалізації керуючих впливів; попереджувальної заміни блоків, вузлів, елементів у ЗНС.

Контроль ТС розглядається як процес отримання і обробки інформації, що встановлює відповідність стану ЗНС встановленим вимогам та забезпечує прийняття рішень.

У результаті контролю ТС виявляються такі елементи ЗНС, стан яких може привести до відмови засобу в цілому. Здійснюється регулювання, налаштування або заміна таких елементів, таким чином вдається своєчасно запобігти відмовам.

Регулювання полягає у реалізації керуючих впливів (КВ) на визначальні параметри (ВП) ЗНС на підставі отриманої у результаті реалізації операцій контролю інформації про їх ТС. Керуючі впливи доцільно здійснювати у разі досягнення ВП меж запобіжних допусків. Метою реалізації КВ є зведення значень регульованих ВП, які контролюються, до номінальних значень [1].

Технічний стан багатьох сучасних ЗНС визначається трьох альтернативно: роботоздатність (РС); погіршення стану (ПС); нероботоздатність (НРС). Якщо ВП ЗНС вийшов за межі експлуатаційних до-

пусків, тоді за результатами контролю ТС ЗНС формується рішення «погіршення» та реалізуються певні КВ з метою своєчасного запобігання відмовам. Якщо за результатами контролю ВП ЗНС відсутній або вийшов за межі встановлених експлуатаційних допусків, тоді приймається рі-

шення «нероботоздатність» (відмова) ЗНС за ВП та здійснюється заміна структурного елемента ЗНС, який відмовив. Модель прийняття рішень та реалізації керуючих впливів в процесі ТО ЗНС представимо у вигляді імовірнісного графу, показано на рис.1

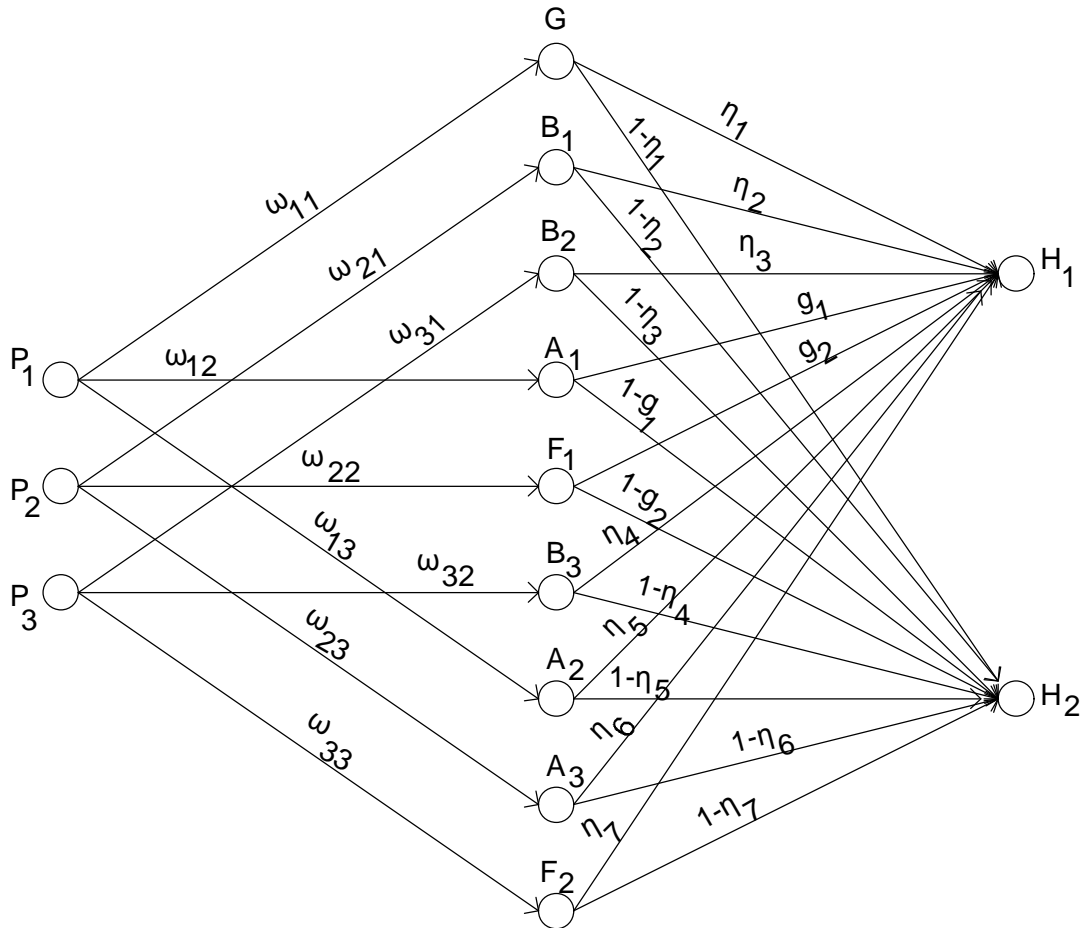


Рис. 1. Модель прийняття рішення та реалізації керуючих впливів в процесі ТО ЗНС.

У процесі побудови моделі використано такі позначення:  $P_1, P_2, P_3$  – імовірності перебування ЗНС у станах РС, ПС, НРС;  $G, F_1, F_2$  – безумовні імовірності прийняття правильних рішень про дійсний ТС ЗНС за результатами контролю ВП;  $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$  – безумовні імовірності прийняття помилкових рішень про дійсний ТС ЗНС;  $W_{ij} (i = j)$  – умовні імовірності прийняття правильних рішень;  $W_{ij} (i \neq j)$  – умовні імовірності прийняття помилкових рішень;  $H_1$  – безумовна імовірність знаходження РТС у РС в резуль-

таті прийняття рішень про ТС та реалізації КВ;  $H_2$  – безумовна імовірність знаходження РТС у НРС в результаті прийняття рішень та реалізації КВ;  $h_i, 1-h_i, g_i, 1-g_i$  – умовні (перехідні) імовірності в процесі реалізації КВ.

Можливі ситуації, які можуть виникати у процесі прийняття рішень та реалізації КВ детально розглянуто у [3].

Ефективність ТО із застосуванням адаптивної експлуатації може бути кількісно визначена за допомогою кількісного критерію [3].

$$Q = \frac{1}{1 - P_{знев} + P_{вне}}$$

де  $P_{знев}$  – імовірність запобігання відмовам у разі прийняття рішень про ТС РТС та реалізації КВ;  $P_{вне}$  – імовірність внесення відмов.

З проведеного ситуативного аналізу випливає

$$P_{знев} = w_{22}g_2 = \frac{F_1}{P_2} \cdot g_2 = \frac{P_2 - B_1 - A_3}{P_2} \cdot g_2;$$

$$P_{вне} = P_{вне1} + P_{вне2} + P_{вне3} = \omega_{21}(1 - \eta_2) + \omega_{12}(1 - g_1) + \omega_{22}(1 - g_2) = \frac{B_1}{P_2}(1 - \eta_2) + \frac{A_1}{P_1}(1 - g_1) + \frac{P_2 - B_1 - A_3}{P_2}(1 - g_2).$$

Визначимо імовірності  $P_1, P_2, P_3, A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ . Позначимо:  $x$  – визначальний параметр РТС;  $M_x$  – математичне сподівання (м.с.) ВП;  $\tau$  – похибка контролю ВП;  $Z = x + t$  – результат контролю ВП;  $M_x$  – м.с.  $\tau$ ;  $S_x$  – середньоквадратичне відхилення (с.к.в.) ВП  $x$ ;  $S_t$  – с.к.в.  $\tau$ ;  $f(x)$  – щільність розподілу імовірності (щ.р.і.) ВП  $x$ ;  $f(t)$  – щ.р.і.  $t$ ;  $(a, b)$  – встановлені експлуатаційні допуски на ВП  $x$ ;  $(a', b')$  – запобіжні допуски на ВП  $x$ .

Наприклад, з урахуванням введених позначень:

$$P_1 = \int_a^{b'} f(x) dx;$$

$$P_2 = \int_a^{a'} f(x) dx + \int_{b'}^b f(x) dx;$$

$$A_1 = \int_a^b f(x) \left[ \int_{a-x}^{a'-x} j(t) dt + \int_{b'-x}^{b-x} j(t) dt \right] dx;$$

$$B_3 = \left[ \int_{a-\xi}^{a'-\xi} \varphi(\tau) d\tau + \int_{b'-\xi}^{b-\xi} \varphi(\tau) d\tau \right] \times \left[ \int_{-\infty}^a f(\xi) d\xi + \int_b^{\infty} f(\xi) d\xi \right].$$

Якщо має місце нормальний закон розподілу параметра  $x$  і похибки його контролю  $t$ , тоді наприклад:

$$P_1 = \int_a^{b'} \frac{1}{\sigma_\xi \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\xi - m_\xi)^2}{2\sigma_\xi^2}} d\xi = \Phi\left(\frac{b' - m_\xi}{\sigma_\xi}\right) - \Phi\left(\frac{a - m_\xi}{\sigma_\xi}\right);$$

Отримані результати аналізу прийняття рішень та реалізації КВ в процесах ТО ЗНС, дозволяють вирішити наступні задачі адаптивної експлуатації:

1. Якщо відомі характеристики ЗНС  $(m_x, S_x, (a, b), (a', b'))$  та засобів контролю її ВП  $(m_t, S_t)$ , то отримані математичні вирази можуть бути використані для визначення ймовірностей прийняття вірних та помилкових рішень про ТС, відповідних вірогідностей прийняття рішень та ефективності процесів ТО з врахуванням реалізації КВ.

2. Якщо відомі характеристики ЗНС, то задаючи вимоги до якості процесів контролю та КВ, можливо обґрунтовано визначити точність засобів контролю та межі запобіжних допусків  $(a', b')$ , застосування яких дозволяє найбільш ефективно здійснити ТО певного типу ЗНС.

Застосування адаптивної СЕ дозволяє: здійснити оптимізацію режимів роботи об'єкта; забезпечити роботоздатність системи в умовах широкої зміни динамічних властивостей об'єкта; підвищити надійність системи, уніфікувати окремі регулятори або їхні блоки й пристосувати їх для роботи з різними видами однотипних об'єктів; знизити експлуатаційні витрати.

У загальному випадку структурну схему обміну інформацією між елементами СЕ можна представити на рис. 2.

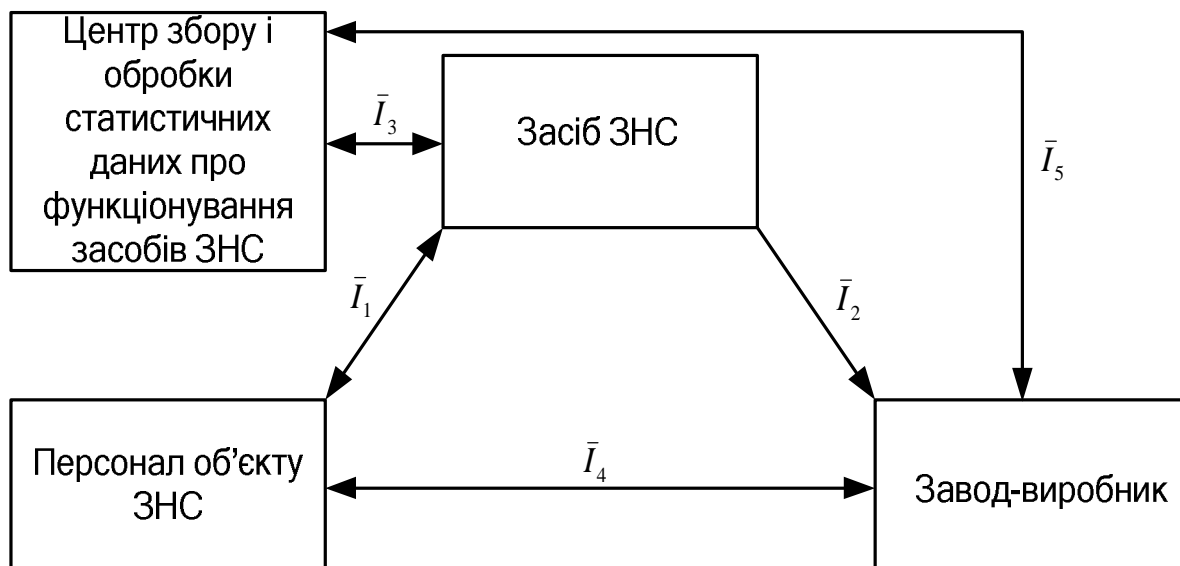


Рис. 2. Структурна схема інформаційної взаємодії.

На рис. наведено п'ять векторів даних. Вектор  $\bar{I}_1$  – це вектор даних, що має найбільшу ємність даних стосовно результатів контролю технічного стану та діагностування, що необхідні для виконання контрольно-вимірювальних робіт. Вектор  $\bar{I}_2$  – вектор даних, призначений для аналізування процесу функціонування засобу ЗНС заводом-виробником. Вектор  $\bar{I}_3$  включає дані, які доцільно використувати при керуванні і моніторингу стану процесів експлуатації окремого засобу. Вектор  $\bar{I}_4$  – це вектор проаналізованих персоналом даних та вимог до цих даних з відповідними рішенням та рекомендаціями щодо функціонування окремих блоків засобу ЗНС. Вектор  $\bar{I}_5$  містить дані щодо аналітичного та статистичного аналізу надійності засобу ЗНС.

Аналіз сучасних засобів ЗНС показує, що обробку даних про стан засобів з точки зору послідуочого керування експлуатацією не виконують ні заводи виробники, ні експлуатанти. Одним із завдань під час модернізації СЕ є формування зворотного інформаційного зв'язку з заводом-виробником спрямованого на підвищення надійності функціонування системи.

При цьому вектори даних постійно вимірюються і контролюються. Виміряні

значення параметрів підлягають статистичній обробці, на основі якої виконуються керуючі та корегуючі впливи. Весь процес збору та обробки даних виконується за допомогою відповідних алгоритмів. У загальному випадку всі оператори обробки даних можна поділити на наступні типи:

- оператори вимірювання;
- оператори оцінювання параметрів;
- оператори перевірки гіпотез;
- оператори фільтрації;
- оператори оцінки відповідності процесів;
- оператори розрахунку ефективності;
- оператори згладжування;
- оператори класифікації.

В залежності від організаційної структури підприємства експлуатанта під час модернізації СЕ засобів ЗНС доцільно побудувати процесну модель СЕ, що буде містити оператори обробки даних, з визначенням контрольних точок їх підключення.

Аналіз сучасних засобів ЗНС показує, що ці засоби оснащені внутрішньою системою контролю визначальних параметрів, таких як випромінювана потужність, коефіцієнт підсилення, напруги та струми живлення тощо. Всі ці параметри мають знаходитися в допустимих межах, що відповідають справному стану облад-

нання. Проте практичний аналіз динаміки змін цих параметрів не виконує ні завод-виробник, ні експлуатант. Цей фактор унеможлиблює подальше підвищення ефективності СЕ в цілому. Крім того, доречно було б оцінювати також не тільки моменти виходу значень контрольованих показників за границі допустимих меж, а й визначати статистичні характеристики цих випадкових процесів.

Отже, модернізацію СЕ засобів ЗНС доцільно проводити з урахуванням таких факторів:

- елементна база електро- та радіо-компонент засобу ЗНС;
- конструктивні особливості побудови засобу ЗНС;
- застосування ІТ-технологій для забезпечення функціонування і контролю технічного стану;
- особливості експлуатаційної документації;
- оцінки рівнів безвідмовної роботи засобу в цілому та його окремих блоків;
- аналіз характерних відмов і пошкоджень;
- потрібний персонал і рівень його кваліфікації;
- взаємовідносини виробника і експлуатанта;
- протоколи обміну даним між об'єктом і користувачем;
- наявність систем автоматичного регулювання засобу ЗНС;
- аналіз статистики подій, можливість їх фіксації і збереження.

## **Висновки**

Розглянута характеристика сучасних засобів зв'язку, навігації та спостереження та аналіз особливостей їх експлуатації, що можуть бути використані під час розробки та модернізації систем експлуатації радіотехнічного обладнання.

## **Список літератури**

1. Соломенцев О.В., Хмелько Ю.М., Жаров І.К., Німич В.В. Основи теорії надійності, експлуатації та ремонту радіоелектронної апаратури: Конспект лекцій. – К.: НАУ, 2007. – 108 с.
2. Мелкумян В.Г. Технологічні системи обслуговуючого типу. Елементи теорії проектування і прикладні задачі експлуатації / В.Г. Мелкумян. – К.: НАУ, 2003. – 171 с.
3. Зуєв О.В. Ситуативний аналіз прийняття рішень та реалізації керуючих впливів в процесах технічного обслуговування радіотехнічних систем / Вісник державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2009. – Том 7, №2. – с. 183–187.

Статтю подано до редакції 18.10.2013