

**ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ СИСТЕМ РЕГІОНАЛЬНИХ
РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КОМПЛЕКСІВ**

Мандзій Б. А.¹, д.т.н., професор; Волочій Б. Ю.¹, д.т.н., професор; Озирковський Л. Д.¹, к.т.н.; доцент; Гнатів С. І.², начальник відділу фіксованого зв'язку; Кулик І. В.¹, асистент

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

²Львівська філія ПрАТ «Київстар», м. Львів, Україна

**EVALUATION OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF MAINTENANCE AND
REPAIR OF THE SUBSYSTEMS OF REGIONAL RADIOELECTRONIC COMPLEX
SYSTEM**

*Bohdan Mandziy¹, Doctor of Engineering, Professor;
Bogdan Volochiy¹, Doctor of Engineering, Professor;
Leonid Ozirkovsky¹, PhD, Associated professor;
Svyatoslav Gnativ², Head of Fixed communications; Igor Kulyk¹, Assistant
¹Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
²Lviv branch of "Kyivstar", Lviv, Ukraine*

Вступ

Під час експлуатації регіональних радіоелектронних комплексів в їх системах виникають різного роду відмови, які спричиняють появу аварійних ситуацій. Простий радіоелектронних комплексів (РЕК), який спричинений виникненням аварійних ситуацій в його системах може приводити до значних матеріальних затрат, що в умовах сучасної економіки недопустимо. Основним способом підтримки та забезпечення заданого рівня надійності під час експлуатації радіоелектронних комплексів є проведення відновлювальних заходів по усуненню аварійних ситуацій, що виникли та заходів для попередження виникнення цих аварійних ситуацій. Правила та послідовність проведення відновлювальних робіт формують відповідну стратегію технічного обслуговування (ТО) [1].

Мета статті. В роботі показано вирішення задачі оцінки економічної ефективності стратегій ТО регіональних РЕК, на прикладі базових станцій коміркового зв'язку, які розміщені на значній відстані від сервісного центру. Розглянута в роботі стратегія ТО передбачає проведення ТО і ремонт сукупності базових станцій коміркового зв'язку однією ремонтною бригадою. Тому при розробці математичних моделей ТО станцій коміркового зв'язку необхідно враховувати багатоетапність процесу ТО, який складається: з етапу підготовки, етапу доїзду на об'єкт, етапу проведення

відновлювальних робіт безпосередньо на самому об'єкті. А також враховувати порядок дій ремонтної бригади, у випадку коли вона проводить ТО і в цей час надходить повідомлення про аварійну ситуацію на іншому об'єкті.

Також необхідно враховувати, що кожна стратегія ТО вимагає певних економічних витрат, які пов'язані з виконанням відновлювальних робіт, проведенням профілактичного обслуговування, витратами на запчастини та доїзд до об'єктів РЕК від місць базування ремонтної бригади, тощо. Тому при виборі стратегії ТО необхідно керуватися не лише досягнутими значеннями показників надійності систем, а й рядом економічних показників таких, як середні питомі витрати, які припадають на одиницю часу перебування системи в працездатному стані [2].

Розрахунок необхідних показників надійності та економічних витрат здійснюється на основі розроблених математичних моделей, які описують процес ТО. Розробка таких математичних моделей розглядається в працях [1-4]. Однак існуючі моделі зазвичай розглядають проведення ТО для одного об'єкта і не можуть бути застосовані для аналізу ТО РЕК, в склад якого входять багато об'єктів.

Тому актуальною є задача побудови математичних моделей процесу ТО РЕК, які враховують не тільки територіальне розміщення об'єктів РЕК, багатоетапність процесу ТО, відключення об'єктів під час ТО, а також економічні витрати на досягнення заданого рівня надійності РЕК. Розроблені моделі повинні володіти високим ступенем адекватності, який дозволяє з високим ступенем достовірності визначати показники ефективності ТО та розв'язувати задачу її оптимізації.

Опис типової стратегії технічного обслуговування базових станцій коміркового зв'язку

При експлуатації РЕК, для підтримання його працездатності використовують два типи відновлювальних робіт до яких підноситься планово-профілактичне обслуговування та аварійно-відновлювальні роботи.

Системи, які знаходяться на об'єктах РЕК, перебувають під постійним контролем моніторингових систем. Тому при появі відмови, яка приводить до втрати об'єктом працездатності, в сервісний центр відразу надходить відповідне повідомлення.

Відмови, які приводять до втрати об'єктом працездатності створюють аварійні ситуації в РЕК. Для усунення аварійних ситуацій в системах РЕК передбачено проведення аварійно-відновлювальних робіт (АВР).

На об'єкті можлива поява відмов, які не можуть бути виявлені за допомогою моніторингових систем. До них відносяться поступові відмови викликані деградаційними процесами, дрейфом параметрів елементів, старінням та втомою обладнання (послаблення кріплень конструкцій, втрата герметичності шаф з обладнанням). Ці відмови не приводять до

втрати об'єктом працездатності, але при їх наявності частота виникнення аварійних ситуацій на об'єкті зростає. Такі відмови називають прихованими, а їх виявлення можливе лише ремонтною бригадою безпосередньо на об'єкті. Для виявлення та усунення прихованих відмов стратегією ТО на об'єктах РЕК передбачено проведення планово-профілактичного обслуговування (ППО).

Підготовка ремонтної бригади до проведення АВР та ППО здійснюється за однаковим правилом. Виїзд ремонтної бригади на об'єкт спонукають дві події: аварійний виклик і виконання плану проведення ППО.

Початок проведення АВР системи РЕК визначає повідомлення, що приходить від моніторингових систем в сервісний центр і сигналізує про виникнення на об'єкті аварійної ситуації. В сервісному центрі здійснюється попередній аналіз аварійної ситуації та надсилається повідомлення про необхідність проведення АВР з інформацією про аварію до ремонтного органу. Послідовність проведення робіт по ППО визначає безпосередньо сервісний центр, керуючись заздалегідь затвердженим графіком.

Планово-профілактичне обслуговування об'єктів РЕК відбувається згідно графіку, який формується згідно технічних умов експлуатації апаратури. Початок проведення робіт по ППО визначає безпосередньо сервісний центр.

По приїзді на об'єкт РЕК, ремонтна бригада проводить ряд профілактичних робіт та перевірок, перелік яких чітко встановлений нормами експлуатації цього об'єкта. Після закінчення ППО об'єкта ремонтна бригада повертається на станцію ТО та надсилає повідомлення в сервісний центр про закінчення ППО з інформацією про роботи, які проводилися, та несправності, які були виявлені та усунені.

Розробка моделі процесу технічного обслуговування об'єктів РЕК у вигляді системи диференційних рівнянь Колмогорова – Чепмена

Відомі моделі технічного обслуговування об'єктів, які представлені в роботах [2-4] не дозволяють адекватно відобразити багатоетапний процес ТО систем регіональних РЕК. Процес ТО систем регіональних РЕК представлено у вигляді системи масового обслуговування (СМО). Розв'язання такої задачі представлено в статті [7].

Сформована СМО складається з трьох черг (черга заявок на проведення ППО, фіктивна черга заявок на усунення прихованих відмов, черга заявок на проведення АВР) та каналу обслуговування (КО).

Черга заявок на проведення ППО відображає об'єкти РЕК, на яких необхідно провести ППО. Максимальний розмір цієї черги визначає кількість об'єктів РЕК, які перебувають на обслуговуванні одної ремонтної бригади.

Фіктивна черга заявок на усунення прихованих відмов відображає поточну кількість об'єктів РЕК, на яких виникли приховані відмови. В моделі

передбачено, що всі приховані відмови на одному об'єкті РЕК входять в одну заявку. Таким чином максимальний розмір черги заявок на усунення прихованих відмов залежить від кількості об'єктів РЕК, які знаходяться на обслуговуванні однієї ремонтної бригади.

Черга заявок на проведення АВР відображає поточну кількість аварійних ситуацій, які виникли на об'єктах РЕК. Так як для кожного об'єкта РЕК властива одна аварійна ситуація, то максимальний розмір черги заявок на проведення АВР залежить від кількості об'єктів РЕК, які знаходяться на обслуговуванні однієї ремонтної бригади.

Для представленої СМО здійснена розробка математичної моделі у вигляді графа станів та переходів та сформована система лінійних диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\left(\frac{P_1}{T_{нидз}} + \frac{(1-P_1)}{T_2} + \lambda + \lambda_{np}\right)P_1(t) + \frac{1}{T_a} \cdot P_{205}(t) + \frac{1}{T} \cdot P_{781}(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= \left(\frac{P_1}{T_{нидз}}\right) \cdot P_1(t) - \left(\frac{1}{T_{ППО}} + \lambda_{np} + \lambda\right) \cdot P_2(t) \\ &\vdots \\ \frac{dP_{935}(t)}{dt} &= \frac{1}{T_{ППО}} \cdot P_{905}(t) + \lambda_a \cdot P_{930}(t) + \lambda \cdot P_{934}(t) - \left(\frac{1}{T} + \frac{1}{T_\partial} + \lambda\right) \cdot P_{935}(t) \\ \frac{dP_{936}(t)}{dt} &= \frac{1}{T_{ППО}} \cdot P_{906}(t) + \lambda_{np} \cdot P_{931}(t) + \lambda \cdot P_{935}(t) - \left(\frac{1}{T} + \frac{1}{T_\partial}\right) \cdot P_{936}(t) \end{aligned} \right\} (1)$$

Рівняння отримані за удосконаленою технологією моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем [5, 6] та розробленого на її основі програмного модуля ASNA-1.

Результатом розв'язання системи диференціальних рівнянь (1) є розподіл ймовірності перебування системи у всіх станах. На основі значень цих ймовірностей формуються необхідні показники ефективності досліджуваного об'єкта.

Формування виразу для визначення середніх питомих витрат, які припадають на одиницю часу перебування РЕК в працездатному стані

Методику розрахунку середніх питомих витрат, які припадають на одиницю часу перебування системи у працездатному стані для випадку коли ТО не розбито на етапи детально описано у монографії [2]. Згідно цієї методики необхідно визначити види робіт, які проводяться під час ТО систем РЕК та питомі затрати, які припадають на проведення цих робіт.

Однак при експлуатації регіонального РЕК процес ТО його об'єктів є багатоетапним і в ньому окремо розрізняють такі етапи, як підготовка ремонтної бригади, доїзд бригади до об'єкта РЕК та проведення робіт безпосередньо на місці.

Згідно опису типової стратегії ТО [7] її представлено у вигляді СМО, яка містить 3 основні етапи проведення відновлювальних робіт.

Процес проведення цих робіт розподілено на три основні етапи:

- Етап 1. Попередня підготовка ремонтної бригади до початку проведення АВР.
- Етап 2. Доїзд ремонтної бригади до об'єкта на якому проводяться відновлювальні роботи.
- Етап 3. Проведення відновлювальних робіт на об'єкті РЕК.

В свою чергу, для проведення ППО етап 1 відсутній, а виїзд ремонтної бригади на об'єкт здійснюється згідно графіка проведення ППО.

Перебування ремонтної бригади на кожному етапі проведення відновлювальних робіт характеризується наступними питомими витратами:

c_{nidg} — питомі витрати, що припадають на одиницю часу підготовчих робіт; c_d — питомі витрати, що припадають на одиницю часу перебування ремонтної бригади в дорозі до системи РЕК; c_{ABP} — питомі витрати, що припадають на одиницю часу виконання АВР системи РЕК; $c_{ППО}$ — питомі витрати, що припадають на одиницю часу проведення робіт з ППО системи РЕК.

Грунтуючись на принципах, викладених у [2], для трьохетапного процесу ТО виведено формули розрахунку середніх питомих витрат, які припадають на одиницю часу перебування РЕК у працездатному стані:

$$\bar{C} = \frac{c_{nidg} \cdot K_{nidg} + c_d \cdot K_d + c_{ППО} \cdot K_{ППО} + c_{ABP} \cdot K_{ABP}}{K_T}, \quad (2)$$

де K_{nidg} — доля часу, яка припадає на підготовку ремонтної бригади до проведення робіт; K_d — доля часу яка, припадає на перебування ремонтної бригади в дорозі до об'єкта; K_{ABP} — доля часу, яка припадає на проведення АВР; $K_{ППО}$ — доля часу, яка припадає на проведення робіт з ППО; K_z — коефіцієнт готовності системи.

Оцінка економічної ефективності стратегії технічного обслуговування

Основною метою, яку поставлено в даній роботі, є розрахунок середніх питомих витрат, які припадають на одиницю часу перебування РЕК в працездатному стані. Використання формули (2) дозволило визначити залежність питомих витрат, які припадають на одиницю часу перебування РЕК в працездатному стані при різній періодичності проведення ППО.

Дослідження проводилися при наступних параметрах системи:

- кількість систем РЕК, які перебувають на обслуговуванні $N = 5$;
- інтенсивність надходження заявок на проведення АВР (інтенсивність виникнення аварійних ситуацій в системах РЕК) $\lambda = 1 \times 10^{-3} \text{ год}^{-1}$;

- інтенсивність надходження заявок на усунення прихованих відмов (інтенсивність виникнення прихованих відмов в системах РЕК) $\lambda_{np}=1 \times 10^{-3} \text{ год}^{-1}$;
- середнє значення тривалості проведення першого етапу обслуговування заявки на проведення АВР (час затрачений на формування та підготовку ремонтної бригади) $T_{nidz}=0,5 \text{ год.}$;
- середнє значення тривалості проведення другого етапу обслуговування заявки на проведення АВР та першого етапу обслуговування заявки на проведення ППО (час затрачений на дорогу до системи РЕК) $T_{\delta}=3 \text{ год.}$;
- середнє значення тривалості проведення другого етапу обслуговування заявки на проведення ППО (час затрачений на проведення робіт з ППО системи РЕК) $T_{ППО}=5 \text{ год.}$;
- середнє значення тривалості проведення третього етапу обслуговування заявки на проведення АВР (час затрачений на проведення АВР в системі РЕК) $T_{ABP}=3 \text{ год.}$;

Для визначення середніх питомих витрат, які припадають на одиницю часу перебування РЕК в працездатному стані необхідно здійснити розрахунок коефіцієнтів для формули (2). Ці коефіцієнти розраховуються, як сума ймовірностей перебування системи у відповідних станах графа P_i (стани підготовки ремонтної бригади, стани перебування ремонтної бригади в дорозі до об'єкта, стани проведення відповідних робіт по ППО чи АВР на системах РЕК, стани працездатності).

При моделюванні процесу ТО розглянутого РЕК отримано граф станів та переходів, який містить 936 станів. Згідно цього графа скомпоновано формули розрахунку відповідних коефіцієнтів.

Визначення коефіцієнта готовності. Радіоелектронний комплекс вважається працездатним за двох умов:

- всі системи РЕК є працездатними;
- при проведенні ППО в системах РЕК не відбулося їх відключення.

$$K_r = \sum_{i=1}^2 P_i + \sum_{i=4}^{14} P_i + \sum_{i=20}^{24} P_i + \sum_{i=265}^{270} P_i + \sum_{i=277}^{282} P_i + \sum_{i=433}^{438} P_i + \sum_{i=445}^{450} P_i + \sum_{i=601}^{606} P_i + \sum_{i=613}^{618} P_i + \sum_{i=769}^{774} P_i + \sum_{i=781}^{786} P_i \quad (3)$$

Визначення долі часу, яка припадає на перебування ремонтної бригади в дорозі до об'єкта. Перебування ремонтної бригади в дорозі визначається трьома подіями: «Завершення першого етапу обслуговування заявки на проведення ППО»; «Переривання обслуговування заявки на проведення ППО»; «Завершення другого етапу обслуговування заявки на проведення АВР».

$$K_{\partial} = P_1 + \sum_{i=4}^9 P_i + \sum_{i=20}^{24} P_i + \sum_{i=30}^{39} P_i + \sum_{i=70}^{119} P_i + \sum_{i=145}^{204} P_i + \sum_{i=277}^{282} P_i + \sum_{i=283}^{292} P_i + \sum_{i=298}^{347} P_i + \sum_{i=373}^{402} P_i + \sum_{i=445}^{460} P_i + \sum_{i=466}^{515} P_i + \sum_{i=541}^{570} P_i + \sum_{i=613}^{618} P_i + \sum_{i=634}^{683} P_i + \sum_{i=709}^{738} P_i + \sum_{i=802}^{851} P_i + \sum_{i=877}^{906} P_i \quad (4)$$

Визначення долі часу, яка припадає на підготовку ремонтної бригади до проведення АВР. Для визначення станів, в яких ремонтна бригада займається підготовкою до АВР скористаємося описом події «Завершення першої фази обслуговування заявки на проведення АВР».

$$K_{\text{підг}} = \sum_{i=25}^{29} P_i + \sum_{i=40}^{69} P_i + \sum_{i=120}^{144} P_i + \sum_{i=293}^{297} P_i + \sum_{i=348}^{372} P_i + \sum_{i=461}^{465} P_i + \sum_{i=516}^{540} P_i + \sum_{i=629}^{633} P_i + \sum_{i=684}^{708} P_i + \sum_{i=797}^{801} P_i + \sum_{i=852}^{876} P_i \quad (5)$$

Визначення долі часу, коли ремонтна бригада займається проведенням АВР на об'єктах РЕК. Для цих станів властива подія «Завершення третього етапу обслуговування заявки на проведення АВР»

$$K_{\text{АВР}} = \sum_{i=205}^{264} P_i + \sum_{i=403}^{432} P_i + \sum_{i=571}^{600} P_i + \sum_{i=739}^{768} P_i + \sum_{i=907}^{936} P_i \quad (6)$$

Визначення долі часу, яка припадає на проведенням ППО в системі РЕК. Виконання робіт з ППО в системі РЕК описується подією «Завершення другого етапу обслуговування заявки на проведення ППО».

$$K_{\text{ППО}} = \sum_{i=2}^3 P_i + \sum_{i=10}^{19} P_i + \sum_{i=265}^{276} P_i + \sum_{i=433}^{444} P_i + \sum_{i=601}^{612} P_i + \sum_{i=769}^{780} P_i \quad (7)$$

Згідно (3) здійснено розрахунок коефіцієнта готовності РЕК (рис.1) та середніх питомих витрат при різній періодичності проведення ППО.

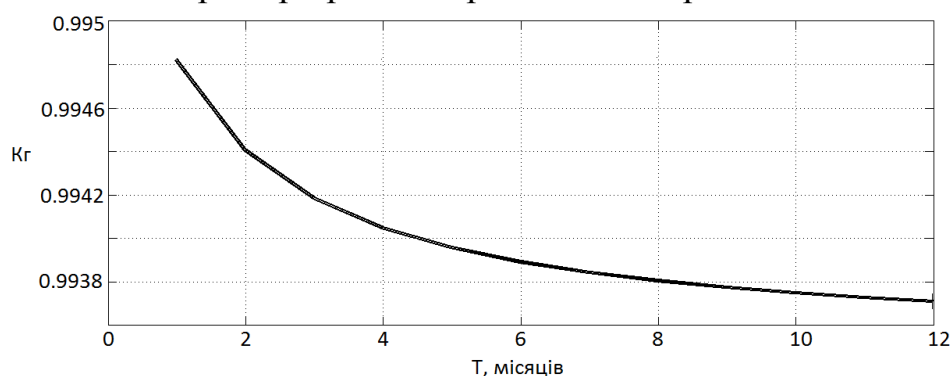


Рис.1. Графіки залежності коефіцієнта готовності РЕК від періодичності проведення ППО

Розрахунок середніх питомих витрат проводився при різних співвідношеннях між питомими витратами, які припадають на проведення робіт ППО та питомими витратами, які припадають на проведення робіт АВР. Результати представлено на рис. 2.

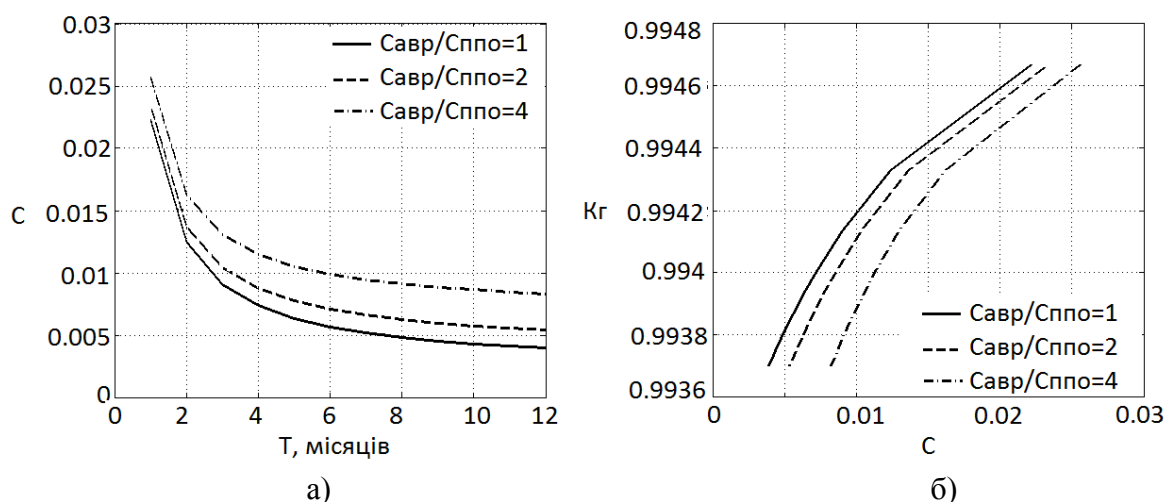


Рис.2. Графіки залежності середніх питомих витрат від періоду між ППО (а) та графіки залежності коефіцієнта готовності системи від середніх питомих витрат (б)

На рис. 2а представлено розраховані залежності середніх питомих витрат, які припадають на одиницю часу перебування РЕК в працездатному стані від періодичності проведення ППО. На рис. 2б представлено співвідношення між коефіцієнтом готовності РЕК, який досягається при проведенні ТО та середніми питомими витратами, які припадають на одиницю часу перебування РЕК в працездатному стані. Отримані залежності розраховані при різних співвідношеннях між середніми витратами на АВР та ППО і дозволяють визначити витрати які затрачаються ремонтною службою для забезпечення відповідного рівня коефіцієнта готовності.

Висновок

В роботі здійснено оцінку економічної ефективності технічного обслуговування та ремонту систем регіональних радіоелектронних комплексів. Для цього було проведено розробку математичної моделі ТО у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена. На основі існуючого методу оцінки економічних показників показано методику отримання формул для розрахунку середніх питомих витрат, які припадають на одиницю часу перебування РЕК в працездатному стані, які враховують багатостадійність процесу технічного обслуговування. Це дало змогу проводити оцінку ефективності стратегії ТО як за економічними показниками так і за показниками надійності.

Література

1. Каштанов В. А. Теория надежности сложных систем (теория и практика) / В. А. Каштанов, А. И. Медведев. — М. : «Европейский центр по качеству», 2002. — 470 с.
2. Креденцер Б. П. Технічне обслуговування систем з почасовою надмірністю / Б. П. Креденцер, С. В. Ленков, А. І. Міночкін, Д. І. Могилевич, М. І. Резніков — К. : ВІТІ НТУУ «КПІ», 2009. — 172 с.
3. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. — М. : Высш. школа, 1982. — 231 с.

4. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен— Пер. с нем. — М. : Радио и связь, 1988. — 392 с.

5. Волочий Б. Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем / Волочий Б. Ю. — Львів: НУЛП, 2004. — 220с.

6. Мандзій Б. А. Оцінювання показників надійності відмовостійкої системи на основі мажоритарної структури з врахуванням параметрів стратегії аварійного відновлення / Б. А. Мандзій, Б. Ю. Волочий, Л. Д. Озірковський, М. М. Змисний, І. В. Кулик // Вісник НУ «Львівська політехніка». Радіотехніка та телекомунікації. — 2011. — №705. — С. 216–224.

7. Волочий Б. Ю. Моделювання процесу технічного обслуговування мереж коміркового зв'язку / Б. Ю. Волочий, Л. Д. Озірковський, І. В. Кулик // Науково-методична конференція «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовки фахівців в галузі телекомунікацій — 2012». Матеріали конференції. — 2012. — С. 48–50.

References

1. Kashtanov V.A., Vtdvedev A.I. Teoriya nadezhnosta slozhnykh system (teotyua i praktyka). — М.: “Evropeyskyy centr po kachestvu”, 2002. — 470 p.

2. Kredencer B.P., Kyenkov S.V., Minochkyn A.I., Mohylevych D.I., Ryznikov M.I. Tekhnichne obsluhovuvannya system z gjchasovoyu nadmirmistyuu. — К.: VITI NTUU “KPI”, 2009. — 172 p.

3. Barzylovych E.Yu. Modely tekhnicheskoho obsluzhyvaniya slozhnykh system. — М.: Vyssh. shkola, 1982. — 231 p.

4. Baykelt F., Franken P. Nadeznost i tekhnichskoe obsluzyvanie. Matematichskyy podkhod: Per. s nem. — М.: Radio i svyaz, 1988. — 392 p.

5. Volochyy B.Yu. tekhnolohiya modelyuvannya alhorytmiv gjvedinky informaciynykh system / Volochyy B.Yu. — Lviv: NULP, 2004. — 220 p.

6. Mandziy B.A. Ocinyuvannya pokaznykiv nadiynosti vidmovostiyykoyi systemy na osnovi mazhorytarnoyi struktury z vrakhuvannyam parametriv stratehiyi avariynoho vidnovlennya / B.A. Mandziy, B.Y. Volochiy, L.D. Ozirkovskyy, M.M. Zmysnyy, I.V. Kulyk // Visnyk NU “Lvivska politechnika”. Radiotechnika ta telekomunikaciyi. — 2011. — №705. — 216–224 pp.

7. Volochiy B.Yu. Modelyuvannya procesu tekhnichnoho obsluhovuvannya merezh komirkovoho zvyazku / B.Y. Volochiy, L.D. Ozirkovskyy, I.V. Kulyk // Naukovometodychna konferenciya “Suchasni problemy telekomunikaciy i pidhotovky fakhivciv v haluzi telekomunikaciy - 2012”. Materialy konferenciyi. — 2012. — 48–50 pp.

Мандзій Б. А., Волочий Б. Ю., Озірковський Л. Д., Гнатів С. І., Кулик І. В. Оцінка економічної ефективності технічного обслуговування та ремонту систем регіональних радіоелектронних комплексів. В даній роботі запропоновано математичну модель процесу технічного обслуговування систем для оцінки його економічної ефективності. Розглянуті в роботі системи знаходяться на певній відстані одна від одної і входять до складу регіонального радіоелектронного комплексу. Для побудови математичної моделі процесу технічного обслуговування представлено у вигляді системи масового обслуговування.

Для досліджуваного об'єкта скомпоновано формули розрахунку середніх питомих витрат, які припадають на одиницю часу перебування радіоелектронного комплексу в працездатному стані та визначено залежності між середніми питомими витратами та періодичністю проведення планово-профілактичного обслуговування. В моделі враховано багатоетапність процесу технічного обслуговування, а саме етап підготовки

ремонтної бригади, етап доїзду до об'єкта радіоелектронного комплексу та етап проведення відповідних відновлювальних робіт.

Ключові слова: технічне обслуговування, ремонт, економічна ефективність, планово-профілактичне обслуговування, аварійно-відновлювальні роботи.

Мандзий Б. А., Волочий Б. Ю., Озирковський Л. Д., Гнатив С. И., Кулик И. В. **Оценка экономической эффективности технического обслуживания и ремонта систем региональных радиоэлектронных комплексов.** В данной работе предложена математическая модель процесса технического обслуживания систем для оценки его экономической эффективности. Рассмотренные в работе системы находятся на определенном расстоянии друг от друга и входят в состав регионального радиоэлектронного комплекса. Для построения математической модели процесс технического обслуживания представлено в виде системы массового обслуживания. Для исследуемого объекта скомпонованы формулы расчета средних удельных затрат, приходящихся на единицу времени пребывания радиоэлектронного комплекса в работоспособном состоянии и определены зависимости между средними удельными затратами и периодичности проведения планово-профилактического обслуживания. В модели учтены многоэтапность процесса технического обслуживания, а именно этап подготовки ремонтной бригады, этап проезда к объекту радиоэлектронного комплекса и этап проведения соответствующих восстановительных работ.

Ключевые слова: техническое обслуживание, ремонт, экономическая эффективность, планово-профилактическое обслуживание, аварийно-восстановительные работы.

Mandziy B., Volochiy B., Gnativ S., Ozirkovskyy L., Kulyk I. **Evaluation of the economic efficiency for maintenance and repair of the subsystems of regional radioelectronic complex system.**

Introduction. In the paper the problem of the economic efficiency assessing of the strategies for maintenance the regional radioelectronic complex system, on the example, of cellular network base stations which are placed at considerable distance from the service center is carried out.

The description of the typical strategy for maintenance of the base stations cellular network. The description of the typical strategy for the maintenance of the base stations of cellular network, which includes realization of the one maintenance crews the repair works and planned preventative maintenance is made.

The model construction of process for maintenance of the subsystems of regional radioelectronic complex system as a system of differential equations Kolmogorov - Chapman.

The mathematical model development of the maintenance of cellular network base stations as a system of differential equations Kolmogorov - Chapman is carried out. The process of maintenance is represented as a queuing system.

The formation of expression for the average unit cost that per unit time spent of the regional radioelectronic complex system in working condition. To assess the cost-effectiveness of maintenance of cellular network base stations, the formula average unit costs, which account for repairing works, planned preventative maintenance and three-stage process of maintenance is built.

Evaluation of the economic efficiency of maintenance strategy. Based on the developed mathematical models and formulas calculating the average unit costs the dependence of availability factor of regional radioelectronic complex system and average unit costs on the

frequency of the maintenance is obtained. Based on the results, evaluation of economic efficiency of maintenance strategy is carried out.

Conclusion. In this paper the cost-effectiveness of maintenance and repair of the subsystems of regional radioelectronic complex system is assessed. The obtaining formulas method for calculating the average unit costs, per unit of time spent of regional radioelectronic complex system in working condition, which takes into account multi-stage process of maintenance, is developed.

***Keywords:** maintenance, repair, cost-efficiency, planning and preventative maintenance, emergency repair works*