

*Михайло Олексійович Шишанов* (доктор технічних наук, професор)<sup>1</sup>  
*Андрій Олександрович Веретнов*<sup>1</sup>  
*Ігор Володимирович Кондратюк*<sup>2</sup>  
*Сергій Андрійович Горбачевський*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, Україна

<sup>2</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Україна

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ ПРОГРАМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

У статті запропоновано концептуальні основи розробки програм забезпечення ремонтпридатності складних технічних систем (СТС). Розглядається важливість і актуальність проблеми забезпечення ремонтпридатності для сучасних СТС. Показано, що в програмі забезпечення надійності та інших документах не приділено належної уваги обґрунтуванню забезпечення ремонтпридатності на етапах розробки і виробництва СТС. Розглядається необхідність в обґрунтуванні вимог до цієї властивості з урахуванням трьох основних аспектів: технічного, економічного і організаційного. Наведено класифікацію показників ремонтпридатності та основних груп факторів, які впливають на них.

Показано, що стадія науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт є основним етапом розробки СТС, на якому повинна забезпечуватися відповідність досягнутого рівня ремонтпридатності СТС, що розробляється нормативним вимогам; на цьому ж етапі мають бути виявлені усі основні слабкі елементи конструкції, встановлені основні причини відмов. Заходи, що проводяться на цій стадії, по підвищенню ремонтпридатності повинні враховувати і бути взаємопов'язані як з технологією виготовлення, так і зі стратегією ТО і Р.

За результатами – наведено сучасний підхід до проблем підвищення ремонтпридатності СТС, як до одного з напрямків підвищення ефективності функціонування. Визначений сучасний підхід до проблем ремонтпридатності СТС та уточнені завдання щодо її вирішення на основі аналізу вирішення цієї проблеми в США та інших провідних країнах світу.

Сформульовані основні напрямки розробки плану і програми забезпечення ремонтпридатності СТС при їх розробці та виробництві. Показано, що розробка плану і програми забезпечення ремонтпридатності СТС дозволить оцінити рівень ремонтпридатності з моменту затвердження технічного завдання до моменту серійного виробництва. При цьому підкреслено необхідність враховувати, що розгляд вимог до ремонтпридатності, закладених в програмі, має стати частиною будь-якого проекту, як елемент програми розробки СТС.

**Ключові слова:** складна технічна система (СТС); надійність; ремонтпридатність; ефективність; виріб; технічне обслуговування і ремонт (ТО і Р); технічне рішення; програма забезпечення ремонтпридатності (ПЗР); відновлення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Складні технічні системи являють собою системи, які складаються з великої кількості складових частин, з'єднаних між собою різними складними зв'язками. Серед них особливу роль відіграють такі системи, які несуть потенційну небезпеку під якою розуміється загроза, можливість, ймовірність нанесення шкоди, катастрофи.

При вирішенні завдань пов'язаних з дослідженням аспектів функціонування даних систем необхідно розглядати їх надійність як властивість найбільш повно характеризує процеси їх експлуатації.

Важливою характеристикою якості та надійності СТС є витрати на їх ремонти, тобто витрати на підтримку і відновлення їх працездатного стану в процесі використання за призначенням.

При розробці конструкцій СТС і їх виготовленні передбачається підтримувати їх працездатний стан і ресурс шляхом проведення певного комплексу робіт, що входять до складу технічного обслуговування і ремонту, і отже, конструкції СТС повинні бути пристосовані до цих робіт, причому періодичність останніх і витрати на них треба встановлювати з умови забезпечення оптимального значення показника

ефективності використання СТС. Іншими словами, конструкції СТС повинні володіти ремонтпридатністю.

Як і інші властивості СТС, ремонтпридатність може бути оцінена кількісно, для чого встановлюється система показників.

Питанням теорії та практики забезпечення ремонтпридатності СТС присвячено велику кількість робіт як зарубіжних так і вітчизняних авторів: М.І. Марютин, П.Н. Волков, Л.Н. Перевезев, А.Н. Склярович, Н.Н. Смирнов, Б.И. Есин, С.Р. Калабро, Д. Кокс, В. Смит, Е.С. Кузнецов, Ю.Г. Фокин, В.И. Алчинов, Г.Г. Маньшин, А.І. Кубарев, О.П. Ковтуненко, Б.П. Креденцер, М.О. Шишанов, Б.М. Ланецький та ін.

Однак, незважаючи на значну кількість робіт по обґрунтуванню вимог до ремонтпридатності СТС, багато важливих для практики завдання все ще залишаються невирішеними або вирішені в такій постановці, яка не враховує багатьох факторів, які впливають на пристосованість СТС до ремонту.

До числа таких завдань відноситься і задача обґрунтування вимог до ремонтпридатності з урахуванням трьох основних аспектів: технічного, економічного і організаційного. Необхідність комплексного дослідження викликана тим, що в даний час складні технічні системи використовуються неефективно не тільки через недостатню високу надійність, але і в значній мірі через недоліки в організації ТО і ремонту. У той же час, своєчасні і доцільні за змістом роботи з підтримки СТС в готовності до використання за призначенням дозволяють не тільки поліпшити показники надійності систем, а й істотно скоротити трудові, матеріальні та фінансові витрати при їх експлуатації.

Подальший розвиток СТС вимагає пошуку нових шляхів підвищення ефективності їх функціонування, бо традиційні підходи, якщо не були певною мірою вичерпані, вимагали багато часу і ресурсів для їх реалізації.

Одним з нових шляхів стало створення СТС, конструкції яких дозволяють виробу виконувати задані функції при збереженні в часі значень встановлених техніко-експлуатаційних показників в заданих межах, що відповідають заданим режимам і умовам використання.

Основним напрямком заходів, здійснюваних в області надійності, зокрема і ремонтпридатності, є управління цією властивістю СТС на всіх етапах їх створення і використання. Для цього встановлюються склад і кількісні значення показників ремонтпридатності, розробляються системи заходів, спрямованих на забезпечення встановлених вимог при проектуванні, виготовленні та експлуатації СТС.

Як і інші властивості СТС, ремонтпридатність може бути оцінена кількісно, для чого встановлюється система показників.

Класифікація показників ремонтпридатності та основних груп факторів, які впливають на них можуть бути розділені на дві основні групи.

1. Оперативні характеристики визначають час, протягом якого система знаходиться в працездатному або непрацездатному стані в якийсь період експлуатації в зв'язку з проведенням відновлювальних робіт.

2. Економічні показники дозволяють оцінити витрати праці і матеріальних засобів на відновлення працездатності системи.

Кількісні характеристики ремонтпридатності, в свою чергу, можна розділити на основні і додаткові. Основні характеристики дозволяють оцінити систему з точки зору виконання заданих вимог до її ремонтпридатності в цілому та отримати оцінки цих показників при проектуванні, виготовленні та експлуатації. Додаткові характеристики кількісно визначають окремі властивості ремонтпридатності з метою оцінки повноти їх обліку в конструкції.

До групи основних оперативних характеристик ремонтпридатності відносять середню оперативну тривалість планового (позапланового) поточного ремонту даного виду та ін.

До групи додаткових оперативних характеристик відносять показники контролепридатності (середня тривалість пошуку відмов, ймовірність виявлення відмов за час, що не перевищує задане), показники взаємозамінності складових частин та ін.

Ідея ремонтпридатності виникла практично одночасно в середовищі фахівців з надійності техніки і фахівців-практиків, які безпосередньо займаються обслуговуванням і ремонтом СТС.

Таке становище призвело до дублювання поняття терміну "ремонтпридатність", термінами експлуатаційної та ремонтної технологічності (тобто до експлуатаційних властивостей СТС), до дискусії про зміст цих понять, яка ведеться до теперішнього часу і до існуючих відмінностей в теоретичній та методичній розробці шляхів вирішення проблеми.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Фахівці з надійності, не розглядаючи більш низький ієрархічний рівень функціонування СТС - процес його технічного обслуговування і ремонту, досить повно розробили математичний апарат впливу ремонту на показники функціонування СТС, при цьому характеристики процесу відновлення вони порівнювали з характеристиками ремонтпридатності і розглядали ремонтпридатність як некеровану властивість СТС тобто вони не пред'являли вимоги до ремонтпридатності СТС і не розробляли методи її забезпечення. Ремонтпридатність розглядається ними на рівні СТС в цілому, без оцінки ремонтпридатності його складових частин (складальних одиниць).

Фахівці з обслуговування та ремонту, навпаки, детально аналізували і оцінювали технологічність СТС при технічному обслуговуванні та ремонті в умовах використання за призначенням, і не розглядали проблему в умовах використання за призначенням при пошкодженнях СТС. При дослідженнях, відповідних до другого підходу,

були розроблені рекомендації щодо забезпечення ремонтпридатності СТС при його проектуванні і методи його оцінки при випробуваннях і в ході експлуатації. Рекомендації мали в основному описовий характер і ґрунтувалися на якісному аналізі конструкції прототипів або аналогів. Методи оцінки базувалися на математичній статистиці.

Свідченням відмінностей двох підходів є показники ремонтпридатності. Фахівці з надійності оцінюють ремонтпридатність за кількістю витраченого часу на ремонт СТС, а практики - по трудомісткості чи вартості відновлювальних робіт.

В даний час створені державні стандарти і галузева нормативно-технічна документація в галузі надійності СТС, в тому числі і ремонтпридатності. Створено програму забезпечення надійності (ПЗН) СТС [1]. З'явився ряд технічних рішень, що забезпечують ремонтпридатність. Але, в ПЗН та інших документах не приділено належної уваги обґрунтуванню забезпечення ремонтпридатності на етапах розробки і виробництва СТС.

Стадія науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт є основним етапом розробки СТС. На цьому етапі повинна забезпечуватися відповідність досягнутого рівня ремонтпридатності СТС, що розробляється нормативним вимогам; на цьому ж етапі мають бути виявлені усі основні слабкі елементи конструкції, встановлені основні причини відмов. Заходи, що проводяться на цій стадії, по підвищенню ремонтпридатності повинні враховувати і бути взаємопов'язані як з технологією виготовлення, так і зі стратегією ТО і Р.

На думку багатьох вчених та конструкторів доцільно використовувати конструктивні прийоми для забезпечення підвищення ремонтпридатності СТС:

створення сімейств СТС по вагових категоріях, використовуючи для кожної вагової категорії одну базу, в тому числі для СТС технічного та іншого забезпечення;

стандартизація, уніфікація складальних одиниць для сімейства СТС однієї вагової категорії;

стандартизація, уніфікація складальних одиниць для сімейства СТС різних вагових категорій;

проведення комплексу заходів з оцінки ремонтпридатності на всіх етапах створення СТС, в результаті яких замовник отримує гарантію того, що виріб буде володіти високою пристосованістю до ТО і Р.

Отже, питання формування основних програм забезпечення ремонтпридатності (ПЗР) СТС при їх розробці і виробництві є актуальними не тільки в науковому, але і в практичному плані.

**Мета статті.** Визначити та надати найважливіші основи для розробки програм

забезпечення ремонтпридатності складних технічних систем.

### Виклад основного матеріалу дослідження

В даний час найбільш доцільним є підхід до ремонтпридатності як до властивості СТС, яке необхідно забезпечувати при його розробці поряд з класичними властивостями, обумовленими технічними вимогами [2, 3].

Цей підхід об'єднує вирішення наступних завдань:

обґрунтування доцільності підвищення ремонтпридатності;

визначення складу вимог до ремонтпридатності;

визначення вимог на стадіях розробки СТС (виробу) і оцінка їх виконання;

оцінку ремонтпридатності виробу.

Необхідно відзначити, що успішне їх рішення базується на злитті надійнісного і технологічного підходів. Це означає, що ремонтпридатність слід розглядати як складову частину надійності і технологічності СТС.

Через надійність повинен здійснюватися зв'язок ремонтпридатності з ефективністю використання СТС [2].

Технологічний аспект програм забезпечення ремонтпридатності дозволяє встановлювати її вплив, як на характеристики системи обслуговування і ремонту виробів, так і для умов використання за призначенням на експлуатаційну властивість СТС "відновлюваність".

Тим самим надається можливість в залежності від показників ремонтпридатності СТС коригувати (або проектувати ще раз) систему ТО і Р. Можливо також вирішувати і зворотню задачу: поряд з оперативними вимогами до ремонтпридатності пред'являти вимоги до зразку в заданій системі ТО і Р [3] з позиції його пристосованості до ремонту.

Перераховані вище завдання забезпечення ремонтпридатності виникають на різних стадіях розробки СТС, тому їх доцільно вирішувати на основі спеціальної програми.

Цікавим є підхід до проблеми ремонтпридатності в США та інших провідних країн світу, який обумовлений великими дослідженнями теоретичного і прикладного характеру. Розроблено стандарти, що регламентують вимоги і методи забезпечення та оцінки цієї властивості [4]. Періодично видаються довідники-керівництва по принципам і методам забезпечення ремонтпридатності різних видів СТС [4]. Наявні дані свідчать про досягнутий високий рівень ремонтпридатності багатьох виробів.

Основними особливостями підходу є те, що ремонтпридатність (maintainability) СТС в США розглядається більш широко, ніж в наших нормативних документах. Вона є функцією конструкції СТС та системи його ТО і Р, характеристик технологічного обладнання, а також персоналу. Фактично це означає, що термін

"maintainability" визначається показниками процесу відновлення СТС.

Є більш вузькі поняття ремонтпридатності "Repairability" і "serviceability". Перше характеризує пристосованість власне конструкції об'єкта до проведення ремонту, і в цьому плані воно ідентичне нашому поняттю "ремонтна технологічність". Друге характеризує пристосованість конструкції об'єкта до виконання профілактичних впливів, включаючи перевірки, заправку паливом і мастилом, чистку та змащення. Це поняття слід розглядати як синонім обслуговуємі (експлуатаційної технологічності) СТС.

Вважається, що ремонтпридатність (maintainability) істотно впливає на ефективність експлуатації об'єктів, їх матеріально-технічну забезпеченість і вартість ТО і Р. Якісний характер впливу ремонтпридатності на ці комплексні властивості систем показаний на рис. 1.

Більш детальне уявлення про зв'язок ефективності системи з її ремонтпридатністю можна отримати в результаті аналізу схеми, зображеної на рис. 2.

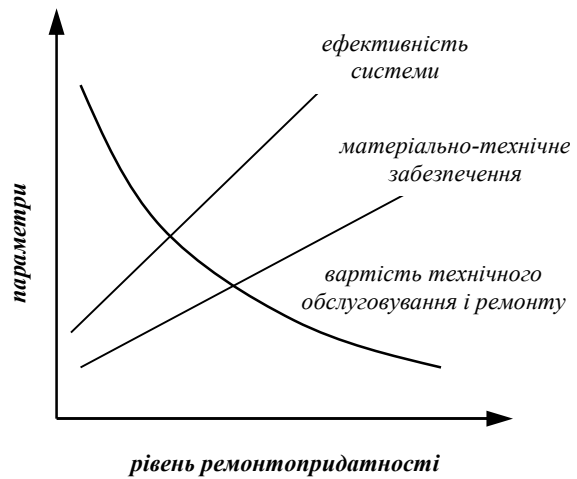


Рис. 1. Характер впливу рівня ремонтпридатності на комплексні властивості систем

На схемі наведені складові показники ефективності системи, яка в процесі виконання свого основного завдання розглядається як відновлювальна [7].

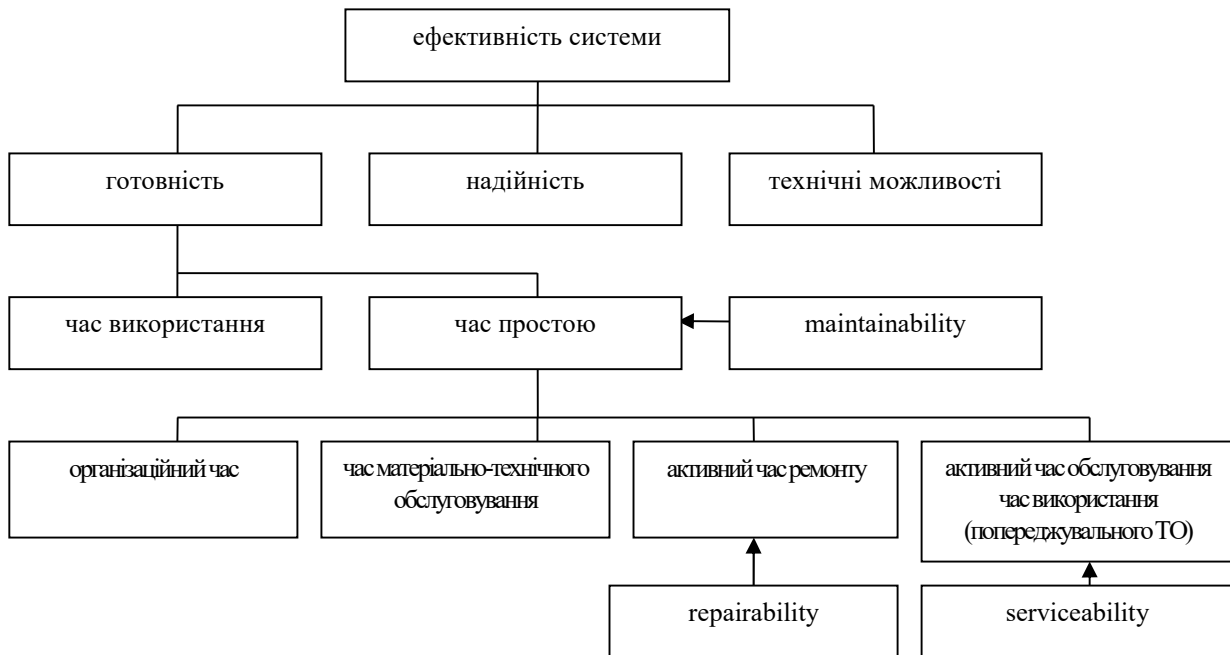


Рис. 2. Складові ефективності системи

Ефективність такої системи є функцією її готовності, надійності (безвідмовності при виконанні завдання) і технічних можливостей, визначених технічними характеристиками.

Стан готовності визначається співвідношенням часу використання і часу простою. Час використання є тимчасовим інтервалом між двома послідовними відмовами або профілактичними впливами, а час простою визначається як сума організаційного часу, часу матеріально-технічного забезпечення і так званого активного, тобто технологічного часу ремонту і профілактики.

Таким чином, час простою, що розглядається як випадкова величина, і різні його оцінки є

показниками ремонтпридатності (maintainability), активний час ремонту і його оцінки є показниками ремонтної технологічності, а активний час попереджувального обслуговування і його оцінки – показниками обслуговуємі. Відзначимо, що час обслуговуємі за потребою (corrective maintainability) є одним з показників ремонтної технологічності. Номенклатура показників ремонтпридатності включає в себе також оцінки обслуговування і ремонту в трудовитратах і вартості відновлювальних робіт.

Готовність оцінюється критеріями [4, 7]. Досягнута готовність  $A_0$  визначається як ймовірність того, що система виявиться

працездатною в будь-який момент часу при відомій системі ТО і Р та при ідеальних умовах їх організації та забезпечення, тобто виключаючи організаційний час і час матеріально-технічного забезпечення при обслуговуванні та ремонті (1):

$$A_d = \frac{MTBM}{MTBM + M} \quad (1)$$

де  $MTBM$  - середній час між двома послідовними діями, що управляють (попереджувальним обслуговуванням або ремонтом);  $M$  - середній активний час виконання дій, що управляється.

Внутрішня готовність  $A_e$  визначається як ймовірність того, що система виявиться працездатною в будь-який момент часу при здійсненні системи "за потребою" та при ідеальних умовах організації і забезпечення ремонту (2):

$$A_v = \frac{MTBF}{MTBM + MDT} \quad (2)$$

де  $MTBF$  - середній час між двома послідовними відмовами;  $MTTR$  - середній активний час ремонту.

Оперативна готовність  $A_o$  визначається як ймовірність того, що система виявиться працездатною в будь-який момент часу при обслуговуванні та ремонту за встановленою системою в реальних умовах, тобто з урахуванням витрат часу на організацію та матеріально-технічного забезпечення робіт:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (3)$$

де  $MDT$  - середній час простою.

Слід зазначити, що у вираженні  $A_o$  значення  $MTBM$  включає в себе час очікування в стані готовності, якщо система використовується не весь період між двома керуючими впливами.

Три способи оцінки готовності дозволяють оцінити:

готовність СТС незалежно від організації і системи його відновлення (оцінка  $A_e$ );

готовність СТС в умовах застосованої системи його ТО і Р (оцінка  $A_o$ );

готовність СТС в умовах застосованої системи його ТО і Р та з урахуванням витрат часу на організацію та матеріально-технічне забезпечення робіт (оцінка  $A_o$ ).

Відзначимо, що прийнятий в Україні коефіцієнт готовності  $K_c$  відповідає оцінці  $A_e$ .

До числа особливостей підходу в США необхідно віднести питання, яке знаходиться на розгляді щодо підвищення ремонтпридатності СТС, як альтернативи іншим шляхам, що забезпечує високу ефективність його функціонування. Оцінка альтернатив проводиться за критерієм ефективність-вартість.

У США поширені кількісні та якісні методи аналізу та синтезу конструкції систем з метою забезпечення ремонтпридатності. На основі цих методів широко застосовуються так звані «запитувальники», що представляють собою перелік питань, на які повинен відповісти конструктор, забезпечуючи ремонтпридатність. Ця свого роду пам'ятка дозволяє врахувати різні

аспекти ремонтпридатності [4].

Таким чином, підхід до забезпечення ремонтпридатності СТС в США принципово не відрізняється від існуючого в Україні. Але багато проблемних питань ремонтпридатності СТС в США вже теоретично і практично вирішені та заслуговують детального вивчення.

Стандартом США Mil-STD-470 визначені вимоги до програми забезпечення ремонтпридатності систем, складальних одиниць, які дозволяють проводити аналіз ремонтпридатності як процесу та перетворюють оперативні вимоги, вимоги до ремонтпридатності в докладні якісні та кількісні вимоги до ремонтпридатності. Це дає можливість виконання завдань, визначених технічними умовами до розподілу кількісних вимог між усіма існуючими функціональними рівнями СТС, а також формування основних напрямків плану програми забезпечення ремонтпридатності СТС при його розробці і виробництві. Програма забезпечення ремонтпридатності СТС при проектуванні і виробництві по суті є комплексом організаційно-технічних заходів, викладених у відповідності з прийнятим переліком стадій розробки СТС.

Програму слід розглядати як складову частину програм забезпечення надійності, технологічності та ергономічності СТС. Програма повинна відповідати виду і складності СТС, стадії розробки та забезпечувати досягнення вимог до ремонтпридатності. У програму забезпечення ремонтпридатності повинні входити наступні етапи [6]:

- підготовка плану програми;
- проведення аналізу ремонтпридатності;
- підготовка вихідних даних для детального задуму і детального плану ремонту;
- встановлення конструктивних критеріїв ремонтпридатності;
- проведення техніко-економічного аналізу конструкції (аналіз компромісних рішень);
- прогнозування значень показників ремонтпридатності;
- включення вимог до ремонтпридатності в технічні умови субпідрядників і постачальників та забезпечення їх виконання;
- об'єднання комплектуючих СТС;
- участь в розглядах (оглядах) проекту;
- організація системи збору та аналізу даних і проведення робіт по їх коригуванню;
- підтвердження виконання вимог до ремонтпридатності;
- підготовка поточних звітів по ремонтпридатності.

На доповнення до встановлених завдань програми забезпечення ремонтпридатності в плані програми має бути також встановлено і визначено наступне:

- поетапний розподіл часу по кожній задачі;
- відповідальні за здійснення програми і всі заходи з навчання персоналу, плануємі в зв'язку з програмою забезпечення надійності;
- зв'язки між підрозділами, що відповідають за

здійснення програми і беруть участь у програмі; тимчасові інтервали поетапного спільного розгляду проекту замовником і підрядником згідно з програмою;

методи розподілу кількісних вимог між функціональними складальними одиницями; методи прогнозування кількісних вимог до ремонтпридатності для нижнього рівня функціональних елементів системи деталей.

Програма забезпечення ремонтпридатності та інші тісно пов'язані з нею програми і роботи передбачають:

1. Технічне забезпечення та вихідні дані плану ремонту:

аналіз вимог до ремонту;  
аналіз ремонтних робіт (завдань);

визначення необхідних інструментів і контрольно-вимірювальної апаратури, включаючи засоби перевірки та вимог до неї;

визначення необхідного персоналу, вимог до його навчання і кваліфікації;

системи інформації про ремонт (технічні дані, навчальні посібники тощо);

визначення потреби в обладнанні та пристроях.

2. Програма надійності.

3. Програма підсистеми обслуговуючого

персоналу (ергономіка, навчання, людські ресурси).

4. Оцінка вартості терміну служби системи і техніко-економічний аналіз її ефективності.

5. Системотехніка та роботи з дослідження ефективності системи.

6. Методи конструювання.

7. Методи оцінки.

8. Техніка безпеки.

9. Процедура збору та аналізу даних.

Варіант плану ПЗР СТС представлена в табл. 1.

На початкових стадіях розробки СТС (виробу): в технічному завданні, технічних пропозиціях і ескізному проекті - вимоги до ремонтпридатності, її забезпечення і оцінка розробляються для СТС в цілому.

При розробці технічного проекту той же комплекс задач вирішується вже на рівні складальних одиниць і, нарешті, в ході розробки конструкторсько-технологічної документації.

Оцінка ремонтпридатності СТС проводиться на кожній стадії з метою контролю правильності прийнятих конструктивних рішень.

При випробуваннях (або в процесі експлуатації і ремонту) виконуються контрольні визначальні оцінки.

Таблиця 1

Стадії розробки	Заходи
Технічне завдання	Розробка вимог до ремонтпридатності виробу: вибір основних і додаткових показників і обмежень; вибір нормованих і ненормованих показників; нормування показників і обмежень
Технічна пропозиція	Аналіз, уточнення та узгодження вимог до ремонтпридатності виробу: попередня оцінка ремонтпридатності проєктованого виробу; розробка вимог до ремонтпридатності комплектуючих елементів. Уточнення завдань забезпечення ремонтпридатності та узгодження їх з програмами забезпечення надійності, технологічності та ергономіки виробу
Ескізний проект	Забезпечення ремонтпридатності виробу та вибір оптимального варіанту її конструктивно-компонуючої схеми: забезпечення ремонтпридатності варіантів; вибір оптимального варіанту; оцінка ремонтпридатності оптимального варіанту. Складання розділу пояснювальної записки до ескізного проекту "Забезпечення вимог до ремонтпридатності виробу"
Технічний проект	Забезпечення ремонтпридатності складальних одиниць виробу: розробка вимог до ремонтпридатності складальних одиниць; методики оцінки виконання вимог. Уточнення оцінки ремонтпридатності виробу. Складання розділу пояснювальної записки до технічного проекту "Забезпечення вимог до ремонтпридатності виробу"
Розробка робочої документації: дослідного зразка	Забезпечення ремонтпридатності складальних одиниць: розробка вимог до ремонтпридатності деталей; забезпечення цих вимог; оцінка виконання вимог. Уточнення оцінки ремонтпридатності складальних одиниць. Уточнення оцінки ремонтпридатності виробу. Коригування конструкторської та технологічної документації. Розробка експлуатаційної документації. Оцінка відповідності досягнутого рівня ремонтпридатності вимогам технічного завдання
виробництво настановної партії	Повна оцінка ремонтпридатності виробу
серійне виробництво	Розробка ремонтної документації

Розробляється також нормативно-технічна документація та розділи пояснювальних записок при завершенні відповідних стадій проекту.

Природно, що реальні умови проектування можуть призвести до зміщення стадій розробки. Наприклад, найчастіше заздалегідь невідомо, які складальні одиниці будуть встановлені на виробі. Але така практика принципово не змінює розглянутий склад завдань.

Програми, складені на основі типового плану, повинні включати в себе методи вирішення завдань. При цьому слід враховувати:

призначення виробу і його конструктивні особливості;

умови і режими експлуатації та ремонту;  
вимоги до ефективності та вартості виробу;  
рівень виробництва, на якому будуть виготовляти виріб;

досвід забезпечення ремонтпридатності.

Таким чином, розробка плану і програми забезпечення ремонтпридатності СТС забезпечить своєчасне виявлення і визначення будь-якої можливої проблеми, що відноситься до вирішення завдань конструювання СТС для підвищення рівня його ремонтпридатності, оцінку технічних результатів і відповідності

наданого проекту вимогам до готового зразку, повну оцінку ремонтпридатності СТС.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Підвищення рівня ремонтпридатності СТС завжди викликало дискусію фахівців з надійності виробів з фахівцями-практиками з обслуговування та ремонту СТС як в теоретичному, так і в практичному плані, породивши відповідно два підходи до цієї проблеми. Сучасний підхід до ремонтпридатності в Україні, як і в США, визначає, що ремонтпридатність – це властивість СТС, яку необхідно забезпечити в першу чергу за рахунок вдосконалення конструкції СТС, встановивши план і програму дій як основу для полегшення аналізу послідовних етапів розробки СТС.

Розробка плану і програми забезпечення ремонтпридатності СТС дозволить оцінити рівень ремонтпридатності з моменту затвердження технічного завдання до моменту серійного виробництва. При цьому необхідно враховувати, що розгляд вимог до ремонтпридатності, закладених в програмі, має стати частиною будь-якого проекту, як елемент програми розробки СТС.

### Література

1. ГОСТ В 15.206–84. Программа обеспечения надежности. Общие положения [Текст].– М.: Изд-во стандартов, 1984. 2. ДСТУ 2860–94. Надійність техніки. Терміни та визначення – К.: Держстандарт України, 1995. – 34 с. 3. ДСТУ В 3576–97. Експлуатація та ремонт військової техніки. Терміни та визначення [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1997. – 61 с. 4. Военный стандарт США Mil-STD-470. Требования к программе

обеспечения ремонтпригодности систем аппаратуры и отдельных устройств [Текст]. 5. Вопросы математической теории надежности [Текст] / под ред. Б. М. Гнеденко. – М.: Радио и связь, 1983. – 374 с. 6. Ремонтпригодность машин [Текст] / А. И. Аристов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1975 – 367 с. 7. Maintainability Engineering Handbook [Text], NAVORD OD 39223 Wash, 1970. – 540 p.

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Михаил Алексеевич Шишанов (доктор технических наук, профессор) <sup>1</sup>*

*Андрей Александрович Веретнов <sup>1</sup>*

*Игорь Владимирович Кондратюк <sup>2</sup>*

*Сергей Андреевич Горбачевский <sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники ВС Украины, Украина*

<sup>2</sup> *Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Украина*

*В статье предложены концептуальные основы разработки программ обеспечения ремонтпригодности сложных технических систем (СТС). Рассматривается важность и актуальность проблемы обеспечения ремонтпригодности для современных СТС. Показано, что в программе обеспечения надежности и других документах не уделено должного внимания обоснованию обеспечения ремонтпригодности на этапах разработки и производства СТС. Рассматривается необходимость в обосновании требований к этому свойству с учетом трех основных аспектов: технического, экономического и организационного. Приведена классификация показателей ремонтпригодности и основных групп факторов, влияющих на них.*

*Показано, что стадия научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ является основным этапом разработки СТС, на котором должна обеспечиваться соответствие достигнутого уровня ремонтпригодности СТС, разрабатываемой нормативным требованиям; на этом же этапе должны быть выявлены все основные слабые элементы конструкции, установлены основные причины*

отказов. Мероприятия, проводимые на этой стадии, по повышению ремонтпригодности должны учитывать и быть взаимосвязаны как с технологией изготовления, так и со стратегией ТО и Р.

По результатам – приведен современный подход к проблемам повышения ремонтпригодности СТС, как к одному из направлений повышения эффективности функционирования. Определенный современный подход к проблемам ремонтпригодности СТС и уточнены задачи по ее решению на основе анализа решения этой проблемы в США и других ведущих странах мира.

Сформулированы основные направления разработки плана и программы обеспечения ремонтпригодности СТС при их разработке, и производстве. Показано, что разработка плана и программы обеспечения ремонтпригодности СТС позволит ценить уровень ремонтпригодности с момента утверждения технического задания до момента серийного производства. При этом подчеркнута необходимость учитывать, что рассмотрение требований к ремонтпригодности, заложенных в программе, должно стать частью любого проекта, как элемент программы разработки СТС.

**Ключевые слова:** сложная техническая система (СТС); надежность; ремонтпригодность; эффективность; изделие; техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р); техническое решение; программа обеспечения ремонтпригодности (ПОР); восстановления.

## CONCEPTUAL FOUNDATIONS FOR DEVELOPMENT OF PROGRAMS TO PROVIDE REPAIRABILITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

*Mychailo Shishanov (Doctor of Technical Sciences, Professor) <sup>1</sup>*

*Andrei Veretnov <sup>1</sup>*

*Igor Kondratyuk <sup>2</sup>*

*Sergii Horbachevskiy <sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Central Research Institute of Armaments and Military Equipment Armed Forces of Ukraine, Ukraine*

<sup>2</sup>*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Ukraine*

The article proposes the conceptual basis for the development of programs to ensure the maintainability of complex technical systems (CTS). The importance and urgency of the problem of ensuring maintainability for modern STS is considered. It is shown that the reliability program and other documents do not pay due attention to the justification of maintainability at the stages of development and production of CTS. The necessity in substantiation of requirements to this property taking into account three main aspects is considered: technical, economic and organizational. The classification of maintainability indicators and the main groups of factors influencing them is given.

It is shown that the stage of research and development work is the main stage of CTS development, which should ensure compliance with the achieved level of maintainability of CTS, which is developed to regulatory requirements; at the same stage, all the main weak elements of the structure must be identified, the main causes of failures must be established. Measures taken at this stage to improve maintainability should take into account and be interrelated with both the manufacturing technology and the strategy of maintenance and repair.

According to the results - a modern approach to the problems of improving the maintainability of CTS, as one of the areas of improving the efficiency of operation. The modern approach to the problems of CTS maintainability is defined and the tasks for its solution are specified on the basis of the analysis of the solution of this problem in the USA and other leading countries of the world.

The main directions of development of the plan and the program of maintenance of serviceability of CTS at their development and production are formulated. It is shown that the development of the plan and program to ensure the maintainability of CTS will allow to assess the level of maintainability from the moment of approval of the technical task to the moment of serial production. At the same time, it is emphasized the need to take into account that the consideration of the requirements for maintainability, laid down in the program, should become part of any project, as an element of the CTS development program.

**Keywords:** complex technical system (CTS); reliability; maintainability; efficiency; product; maintenance and repair (maintenance and repair); technical solution; maintainability program (MP); restoration.

### References

1. GOST V 15.206–84. Programma obespecheniya nadezhnosti. Obshchiye polozheniya [Tekst].– M.: Izd-vo standartov, 1984.
2. DSTU 2860–94. Nadiynist' tekhniki. Terminy ta vyznachennya –Derzhstandart Ukrayiny, 1995. – 34 s.
3. DSTU V 3576–97. Yekspluatatsiya ta remont viys'kovoї tekhniki. Terminy ta vyznachennya [Tekst]. – K.: Derzhstandart Ukraini, 1997. – 61 s.
4. Voyenny standart SSHA Mil-STD-470. Trebovaniya k programme obespecheniya remontprigodnosti sistem apparatury i otdel'nykh ustroystv [Tekst].
5. Voprosy matematicheskoy teorii nadezhnosti [Tekst] / pod red. B. M. Gnedenko. – M.: Radio i svyaz, 1983. – 374 s.
6. Remontprigodnost' mashin [Tekst] / A. I. Aristov [i dr.]. – M.: Mashinostroyeniye, 1975 – 367 s.
7. Maintainability Engineering Handbook [Text], NAVORD OD 39223 Wosh, 1970. – 540 p.