

**Бажак О. В.**

## **УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ**

*Аналіз відповідних джерел інформації свідчить про те, що показники якості перевезень пасажирів та вантажів, рівень безаварійного судноводіння продовжують покращуватися. Особлива увага приділяється саме заходам забезпечення заданого рівня безаварійності. Значна роль в цьому напрямку – ефективне рішення завдань навігаційного забезпечення. Це ще більш підкреслює актуальність наукових досліджень з метою підвищення ефективності морських та річкових транспортних засобів за рахунок використання оперативної та достовірної навігаційної інформації.*

*На теперішній час для забезпечення гарантованого рівня достовірності, точності та оперативності навігації використовують прогресивні технологічні рішення на основі супутникової навігації. Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду розробки та впровадження систем навігації, які використовують GNSS сигнали свідчить про можливість значного підвищення їх ефективності за рахунок розвитку математичного забезпечення та використання так званих локальних радіонавігаційних систем. Найбільш актуальним в цьому напрямку є використання локальних (псевдосупутникових) радіонавігаційних систем які працюють в форматі GNSS-сигналів саме зі змінною або гнучкою структурою. В таких системах радіонавігаційні точки є мобільними, а це дає змогу оперативне забезпечити задану точність навігації в окремому районі судноводіння.*

*Введення граничного значення на імовірнісний показник ефективності системи формує критерій ефективності як критерій допустимої гарантії. Граничні значення цього показника, а також обмеження щодо точності системи, які входять до складу показника ефективності, задаються розробником на основі знання тактико-технічних характеристик засобів, для забезпечення функціонування яких розгортається псевдосупутникова радіонавігаційна система, та досвіду їх застосування у конкретних умовах обстановки.*

**Ключові слова:** *навігаційне забезпечення, достовірність, точність та оперативність, псевдосупутникові радіонавігаційні системи, радіонавігаційна точка, радіонавігаційна інформація, GNSS-сигнали*

**Постановка проблеми.** Відомими методами контролю надійності не передбачена можливість планування раціональних (відповідно до вище зформульованого поняття) контрольних вимірювань. Ступінь “раціональності” цих методів контролю надійності можна оцінити тільки з погляду мінімізації вартості (тривалості) проведення випробувань за вибраним методом контролю надійності за умови виконання вимог до точності і достовірності схвалюваних рішень. Так, відомі дворівневі методи контролю надійності можна розташувати в порядку зростання ступеню їх раціональності наступним чином: одноступеневі [1], багатоступеневі [1,2], послідовні [3], послідовні усічені, потрійний послідовний, оптимальний узагальнений послідовний, комбінований. Серед однорівневих методів контролю двоступеневий контроль раціональніший, ніж одноступеневий [1–4].

Як відомо, в середньому найбільш економічним при проведенні контрольних випробувань на надійність є контроль надійності за послідовною схемою контрольних випробувань її модифікаціям, за умови, що забезпечена незалежність спостережень, що послідовно проводяться. Проте, слід зазначити, що відомі в науково-технічній літературі процедури послідовного контролю і їх модифікації розглянуті тільки для контролю показників надійності за двома рівнями.

**Метою статті** є удосконалення методу оцінки показників надійності обладнання засобів водного транспорту.

Для свого вирішення задача розробки раціонального плану контрольних вимірювань на надійність вимагає сумісного дослідження можливості використання послідовної процедури контрольних вимірювань при контролі надійності за одним рівнем і розробки процедури планування об'ємів контрольних вимірювань з урахуванням апріорної інформації про величину показника, що забезпечує виконання вимог до достовірності і відтворюваності результатів контролю, а також, у разі ухвалення позитивного рішення за результатами контролю, отримання оцінки показника надійності, що контролюється, із заданою точністю і достовірністю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Завдання розробки раціональних планів контрольних вимірювань у декілька іншій постановці сформульована в [3]. НТД рекомендує для використання найбільш розроблені методи контролю показників надійності (одноступеневий, двоступеневий, багатоступеневий, послідовний, послідовний усічений, з використанням довірчих меж) і їх модифікації (потрійний послідовний, оптимальний узагальнений послідовний і інші) за двома рівнями. Перераховані методи контролю надійності направлені тільки на зниження потрібних об'ємів випробувань. Крім того, для забезпечення відтворюваності результатів контролю, пропонується у розробника і споживача застосовувати єдині методи, плани контролю і правила ухвалення рішень, що веде до великих витрат [4, 12]. Це в сукупності не дозволяє вирішити проблему їх “раціональності” в повному об'ємі.

Іншим напрямом рішення задачі скорочення об'ємів контрольних вимірювань є розробка методів контрольних вимірювань за одним контрольним. Розглянута в [1, 4, 12] одноступенева схема контрольних вимірювань передбачає фіксацію їх об'єму до початку проведення контрольних вимірювань без його зміни в процесі їх проведення залежно від отримуваних проміжних результатів випробувань.

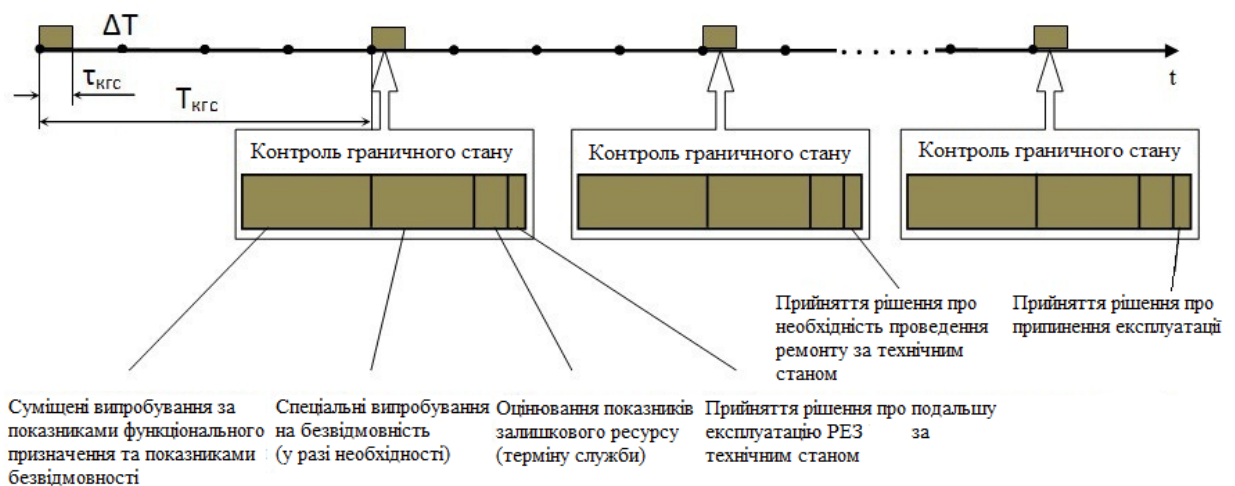


Рисунок 1 – Варіант реалізації підконтрольної експлуатації і контролю граничного стану

Для успішної реалізації економічно вигідної стратегії ТЕ і Р зразків обладнання ЗРМТ за станом виконуються заходи з індивідуального вирішення завдань продовження

призначених ресурсів (термінів служби), яке, повинно бути реалізованим в рамках Програми робіт по продовженню призначених ресурсів (термінів служби) з проведенням підконтрольної експлуатації і контролів граничного стану.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** На рис.1 наведено варіант реалізації підконтрольної експлуатації і контролю граничного стану зразків обладнання ЗРМТ, що виконуються відповідно до даної Програми. При розробці (удосконаленні) методу оцінки показників надійності необхідно враховувати, що на зразках обладнання ЗРМТ послідовно виконуються відповідні етапи підконтрольної експлуатації та контролів граничного стану.

При цьому етапи підконтрольної експлуатації (рис.1) розподілені на інтервали фіксованої тривалості, а результати експлуатаційних спостережень за їх тривалість розглядаються як результати випробувань на безвідмовність. При проведенні контролів граничного стану передбачені [5] суміщені випробування за показниками функціонального призначення і показниками безвідмовності та, при необхідності, спеціальні випробування на безвідмовність, після закінчення яких, у разі ухвалення рішення про неграничний стан об'єкту, проводиться розрахунково-експериментальна оцінка показників залишкового ресурсу (терміну служби) з ухваленням рішення про подальшу експлуатацію зразків обладнання ЗРМТ з продовженням призначеного ресурсу (терміну служби) або, у разі ухвалення рішення про граничний стан, про припинення експлуатації, доцільності проведення ремонту встановленого виду або списання з утилізацією встановленим порядком.

Для індивідуального вирішення завдань продовження призначених ресурсів (термінів служби) необхідно проводити експериментальну оцінку показників довговічності зразків обладнання ЗРМТ. У свою чергу, експериментальні дослідження з метою оцінки показників довговічності можна проводити: шляхом організації ресурсних випробувань; шляхом організації експлуатаційних спостережень або комбінованим методом, що використовує два вищезазначені напрями сумісно.

На практиці процедура оцінки показників довговічності зразків обладнання ЗРМТ за результатами організації і проведення ресурсних випробувань або експлуатаційних спостережень важка через те, що відсутня статистика моментів переходів обладнання ЗРМТ і їх зразків в граничні стани і, як наслідок, відсутня вибірка значень ресурсів і термінів служби зразків обладнання ЗРМТ, що не дозволяє встановлювати закони розподілу цих випадкових величин; встановлення законів розподілу ресурсів і термінів служби зразків обладнання ЗРМТ розрахунково-експериментальним методом за відомими законами розподілу ресурсів і термінів служби комплектуючих виробів, визначеним за наслідками експлуатаційних спостережень, приводить до великих погрішностей унаслідок неможливості обліку умов і режимів експлуатації конкретних комплектуючих виробів у складі апаратури обладнання ЗРМТ, його зразків і їх складових частин і інших істотних допущень, прийнятих при розробці цього методу.

У зв'язку з цим оцінку показників залишкового ресурсу (терміну служби) зразків обладнання ЗРМТ при мінімізації сумарних витрат на їх ТЕ і Р доцільно проводити комбінованим методом, використовуючи результати підконтрольної експлуатації і контролів граничного стану. При цьому в методі, що удосконалюється (або розробляється), необхідно передбачити вирішення наступних завдань: контролю і оцінки показників безвідмовності за результатами експлуатаційних спостережень за фіксовані інтервали експлуатації і випробувань на безвідмовність, що проводяться в процесі контролю граничного стану; подальшої оцінки показників залишкового ресурсу (терміну служби).

У свою чергу, вимоги до показників якості результатів випробувань (експлуатаційних спостережень) встановлюються з обліком: можливості реалізувати

запланований об'єм випробувань (експлуатаційних спостережень); величин втрат із-за недостатньої точності і достовірності результатів випробувань (експлуатаційних спостережень). Основними шляхами підвищення якості результатів випробувань (експлуатаційних спостережень) мають бути: розробка нових планів випробувань; використання апріорної інформації; оптимізація параметрів відомих і нових планів випробувань (експлуатаційних спостережень).

Організація випробувань на надійність залежить від великої кількості чинників, більшість з яких носить характер обмежень - технічних, економічних, інформаційних і інших. Це, у свою чергу, накладає відповідні обмеження на об'єм випробувань (експлуатаційних спостережень), що реалізуються. Оскільки випробування зразків обладнання ЗРМТ характеризуються високою вартістю і значною тривалістю, то для забезпечення необхідної якості результатів випробувань необхідно розробляти більш досконалі плани випробувань з використанням апріорної інформації і оптимізувати їх параметри.

Під плануванням випробувань розуміють [6] вибір плану випробувань і його параметрів, що забезпечують при заданих обмеженнях досягнення якнайкращого значення вибраного критерію оптимальності плану. Щоб спланувати випробування необхідно: на підставі певних "міркувань" вибрати тип плану випробувань (планування в широкому розумінні [7]); для вибраного типу плану випробувань встановити його параметри (планування у вузькому розумінні [8, 9]). Відзначимо, що стратегія (тип плану) випробувань характеризується наступними чинниками: об'єм випробувань - кількість тих виробів, що піддаються випробуванням, кількість дослідів або сумарний наробіток; зміст одиничного досвіду і ознака його закінчення; порядок проведення випробувань (з відновленням і (або) заміною зразків, що відмовили; без відновлення і (або) їх заміни); методи скорочення необхідного об'єму випробувань на підставі обліку апріорної інформації; ознаки (критерії) припинення випробувань; вирішальне правило - сукупність вказівок для висновку про надійність об'єкту за наслідками його випробувань. Тому при обґрунтуванні стратегії (типу плану) випробувань необхідно аналізувати сукупність вищенаведених чинників.

Хай мета випробувань на надійність "структурована" деякою цільовою функцією  $W$ , а  $p$  — є безліч типів планів випробувань на надійність  $p_1, p_2, \dots, p_k$ . Тоді вибір типу плану випробувань  $\pi_i \in \pi$  зводиться до вирішення на множині обмежень  $\Omega(\pi)$  наступного завдання

$$W(\pi) \rightarrow \text{extr}.$$

При цьому план  $\pi_i$  більш ефективний, ніж план  $\pi_j$  при заданих обмеженнях  $\Omega(\pi)$  і цільової функції  $W(\pi)$ , якщо  $W(\pi_i) > W(\pi_j)$ , за умови  $W(\pi) \rightarrow \max$ , або  $W(\pi_i) < W(\pi_j)$ , за умови  $W(\pi) \rightarrow \min$ . Якщо при заданих обмеженнях виконується умова  $W(\pi_i) = W(\pi_j)$ , то плани  $\pi_i$  і  $\pi_j$  є еквівалентними.

Вище було наведено, що метою проведення випробувань зразків обладнання ЗРМТ на безвідмовність є перевірка величин показників безвідмовності, що контролюються, на відповідність встановленим вимогам й, у разі позитивного результату, оцінювання цих показників із заданою точністю та (або) достовірністю. З урахуванням вимог до точності і достовірності контролю і оцінки показників надійності завдання можна навести у вигляді  $W(\pi) \rightarrow \text{extr}$ ,  $\delta(\pi) \leq \delta_{\text{тр}}$ ,  $\gamma(\pi) \geq \gamma_{\text{тр}}$ , де  $\delta_{\text{тр}}$ ,  $\gamma_{\text{тр}}$  - задані значення показників точності і достовірності при контролі (оцінці) показників надійності. Для скорочення

множини  $\Pi$  можуть бути використані рекомендації щодо вибору типів планів випробувань на надійність [10] і результати приведеного нижче аналізу.

Оскільки тривалість випробувань на надійність, як правило, велика, то для забезпечення реалізації запланованих об'ємів випробувань доцільно використовувати так звані суміщені випробування на надійність. При цьому, як правило, вибір плану випробувань на надійність обумовлений порядком проведення випробувань за показниками функціонального призначення. При необхідності передбачається проведення спеціальних випробувань на надійність [11].

Для знаходження параметрів плану випробувань вибраного типу необхідно використовувати відомі або, у разі їх відсутності, розробити нові співвідношення, що визначають взаємозв'язок характеристик точності і достовірності з результатами випробувань. Необхідність вдосконалення відомих математичних моделей випробувань на надійність для подальшого їх використання при обґрунтуванні параметрів планів випробувань зразків обладнання ЗРМТ на безвідмовність пов'язана з тим, що: відсутні математичні моделі процесів випробувань на надійність для сумісного вирішення завдань контролю і подальшої (при позитивних результатах контролю) оцінки показників безвідмовності об'єкту випробувань; відомі математичні моделі випробувань технічних об'єктів на надійність передбачають зниження витрат (часових, вартісних і інших) на проведення цих випробувань при виконанні вимог до точності і достовірності їх результатів, як правило, за рахунок переходу до багатоступеневої або послідовної схеми їх проведення без урахування апріорної інформації про величини показників надійності, або, при одноступеневої схемі проведення - за рахунок обліку апріорної інформації про величину показника надійності.

Тому доцільна розробка математичних моделей, що описують процес послідовних випробувань зразків обладнання ЗРМТ на безвідмовність з урахуванням апріорної інформації про величини показників безвідмовності, що контролюються, з подальшою оцінкою їх величини у разі позитивного результату контролю. Плани випробувань, усічені за тривалістю або кількістю відмов, допускають можливість значних відмінностей величин, які спостережуються, після закінчення проведення випробувань на надійність ризику постачальника і споживача від запланованих значень. Для забезпечення відповідності фактичних величин ризиків запланованим значенням розробляється імітаційна модель процесу випробувань на надійність. Вирішенню цих завдань присвячений розділ 3 дисертації.

Вирішення перерахованих вище завдань обґрунтування вимог до якості результатів випробувань на надійність, обґрунтування стратегій випробувань на надійність, обґрунтування параметрів планів випробувань і складання програми випробувань здійснюється, як правило, шляхом послідовних наближень з поверненням до вже пройдених етапів. При цьому рішення, що приймаються на першому етапі (обґрунтування вимог до точності і достовірності результатів випробувань), значно впливають на параметри планів випробувань, об'єм необхідних статистичних даних, величину витрат праці, часу, ресурсу об'єктів випробувань, загальну тривалість і вартість випробувань. Проте виявляються ці техніко-економічні характеристики лише на подальших етапах. Для обґрунтування вимог до точності і достовірності контролю і оцінки показників безвідмовності, в принципі, можна розробити підхід, що забезпечує однозначність і раціональність (оптимальність у певному значенні) рішень, що приймаються. Так, оптимальним можна рахувати рівень вимог, що мінімізує суму втрат від можливих помилок контролю і (або) оцінки показників надійності виробу і витрат на проведення випробувань. Якщо другий доданок можна визначити відносно просто, то перше визначити важко. Остаточний варіант значень вимог до точності і достовірності результатів випробувань, як правило, є компроміс між прагненнями отримати результати

порівняно високої якості і понизити витрати на підготовку і проведення випробувань [12].

Залежно від наявних початкових даних розглядаються різні варіанти обґрунтування вимог до точності і достовірності результатів випробувань на безвідмовність. У зв'язку з тим, що в процесі підконтрольної експлуатації передбачено неодноразове проведення контролів граничного стану (рис.1), то доцільно перед проведенням випробувань на безвідмовність уточнювати необхідні величини показників точності і достовірності їх результатів. Тому вирішення вищенаведених завдань пропонується проводити з використанням так званих “відкритих” процедур, що передбачають перегляд попередніх рішень про величини початкових характеристик і параметрів планів випробувань з урахуванням чергових отриманих результатів випробувань і підконтрольної експлуатації, що показано на блок-схемі удосконаленого методу оцінки показників надійності зразків обладнання ЗРМТ (рис.2).

Оскільки безвідмовність зразків обладнання ЗРМТ в процесі експлуатації змінюється, а вихід показників безвідмовності за межі встановлених вимог є одним з ознак переходу об'єктів в граничний стан, то оцінку показників залишкового ресурсу (терміну служби) обладнання ЗРМТ доцільно проводити з використанням залежностей зміни показників безвідмовності від параметрів, що характеризують ступінь їх зміни, наприклад, тривалість експлуатації, сумарний наробіток і тощо. Унаслідок того, що вигляд і кількість аргументів цих залежностей, як правило, невідомо, то потрібно їх встановлювати з використанням накопичених результатів експлуатаційних спостережень і випробувань на безвідмовність. Математичним апаратом, який може бути використаний для вирішення даного завдання, є методи множинного лінійного регресійного аналізу [1, 12]. Виключення взаємозалежності аргументів (частину з них носять випадковий і неубиваючий характер зміни в часі) і облік нерівноточности оброблених результатів підконтрольної експлуатації і випробувань на безвідмовність запропоновано здійснювати відповідно з використанням методів факторного аналізу і зважених методів оцінки невідомих коефіцієнтів регресійної моделі.

Побудовані моделі зміни показників безвідмовності зразків обладнання ЗРМТ після перевірки їх якості запропоновано використовувати для прогнозування значень показників безвідмовності на майбутньому етапі експлуатації (рис.1) [11,12] в припущенні, що умови і режими експлуатації на інтервалах спостереження і випередження істотно не розрізнятимуться. Оцінки показників залишкового ресурсу (терміну служби) обладнання ЗРМТ при експлуатації за технічним станом визначаються за відомими гранично допустимими значеннями показників безвідмовності і моделям зміни їх величин в процесі експлуатації. Вирішенню цих завдань присвячений підрозділ 4.1.

Відповідно до вищенаведеного вирішення завдань контролю і оцінки показників надійності зразків обладнання ЗРМТ при експлуатації за технічним станом для продовження їх призначених ресурсів (термінів служби) пропонується реалізовувати шляхом розробки (удосконалення) відповідного методу, до складу якого входять наступні часткові методи: метод обґрунтування початкових характеристик для планування випробувань зразків обладнання ЗРМТ на надійність; метод планування випробувань зразків обладнання ЗРМТ на безвідмовність; метод розрахунково-експериментальної оцінки показників залишкового ресурсу (терміну служби) обладнання ЗРМТ при експлуатації за технічним станом з використанням результатів підконтрольної і ліверної експлуатації і випробувань на надійність. Взаємозв'язок вищеназваних часткових методів і інших елементів в рамках удосконаленого методу показаний на рис.2.

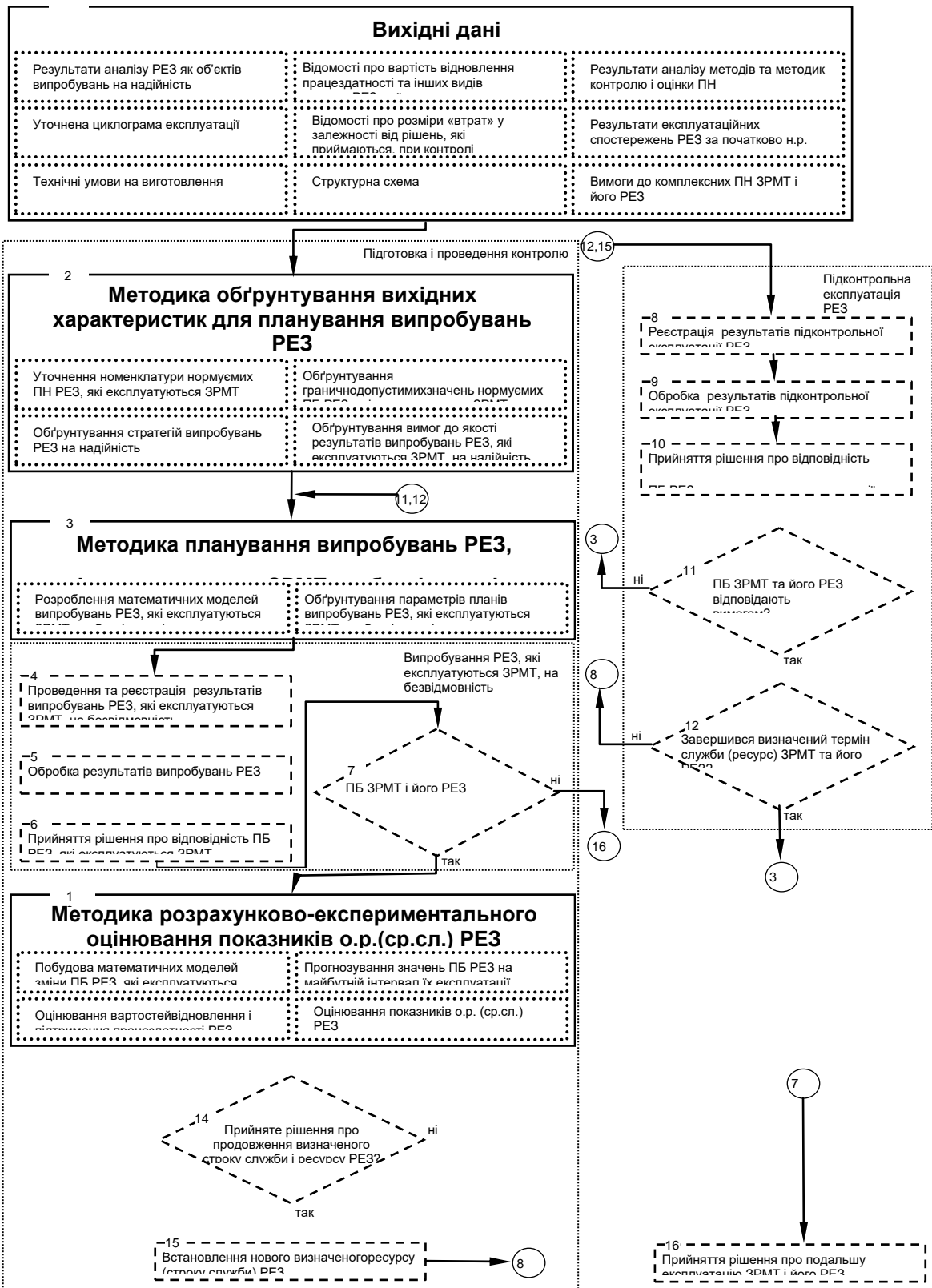


Рисунок 2 – Структурна схема методу контролю і оцінки показників надійності обладнання ЗРМТ при експлуатації за технічним станом

Розроблений (удосконалений) метод заснований на наступних основних положеннях:

– при вирішенні завдань продовження призначених ресурсів (термінів служби) є (або можуть бути обчислені) кількісні оцінки показників безвідмовності обладнання ЗРМТ, відповідні різним інтервалам експлуатації фіксованої тривалості;

– на початок вирішення завдань продовження призначених ресурсів (термінів служби) уточнена типовий життєвий цикл обладнання ЗРМТ за результатами його експлуатації протягом первинного встановленого призначеного ресурсу (терміну служби). При цьому може бути потрібно уточнення номенклатури нормованих показників надійності зразків обладнання ЗРМТ, встановлених в технічних умовах на виготовлення нових виробів;

– надійність нових зразків обладнання ЗРМТ, а, отже, і вимоги до їх показників надійності, встановлюються розробником з певним “запасом”, який повинен забезпечувати ефективність використання обладнання за призначенням не нижче заданого показника в межах первинного встановленого призначеного ресурсу (терміну служби). Для зразків обладнання ЗРМТ, що експлуатуються за технічним станом на інтервалах продовження призначених ресурсів (термінів служби), вимоги до показників надійності повинні бути уточнені з урахуванням нових чинників;

– випробування зразків обладнання ЗРМТ на надійність проводяться для підтвердження відповідності показників безвідмовності об'єктів випробувань встановленим вимогам у відповідних реальних режимах експлуатації умовах. При цьому режими функціонування (тривалість перебування в увімкненому стані, періодичності вмикань і інше) виробів повинні задовольняти вимогам експлуатаційної документації, а інтенсивність експлуатації при випробуваннях на безвідмовність може бути вище, ніж при штатній експлуатації в сучасних умовах;

– режими функціонування зразків обладнання ЗРМТ в процесі підконтрольної експлуатації відповідають режимам функціонування при штатній експлуатації виробів. При цьому результати підконтрольної експлуатації розглядаються як результати пасивного експерименту;

– контроль і оцінка показників безвідмовності проводяться за результатами експлуатації за відповідні інтервали фіксованої тривалості і результатами спеціальних випробувань з урахуванням апріорної інформації, накопиченої за передуючий випробуванням інтервал експлуатації;

– оцінка показників залишкового ресурсу (терміну служби) проводиться за результатами сумісної обробки результатів експлуатації і випробувань на надійність на досліджуваних інтервалах експлуатації;

– кожен з виділених вище основних етапів удосконаленого методу контролю і оцінки показників надійності зразків обладнання ЗРМТ вимагає вирішення певної сукупності завдань і, отже, розробки відповідних методів;

– необхідно забезпечити певну послідовність і взаємозв'язок вирішення сукупності завдань контролю і оцінки показників надійності, що приводить до необхідності введення в блок-схему удосконаленого методу так званих “зворотних зв'язків”, які дозволять адаптивно вирішувати конкретні завдання залежно від накопиченої інформації, що використовується в якості початкових даних.

Початковою інформацією, яка використовується при вирішенні вищевикладених завдань, є накопичені результати експлуатаційних спостережень і результати випробувань на надійність, організованих при контролі граничного стану.

Відповідно до блок-схеми удосконаленого методу контролю і оцінки показників надійності зразків обладнання ЗРМТ при експлуатації за технічним станом (рис.2.2), отримання і сумісна обробка результатів випробувань на надійність і експлуатаційних спостережень зразків обладнання ЗРМТ для вирішення завдань продовження їх призначених ресурсів (термінів служби) полягає в наступному:

– у моменти часу, передбачені Програмою робіт по продовженню призначених

ресурсів (термінів служби) (рис.2.1), результати експлуатаційних спостережень і випробувань на надійність, накопичені за інтервали експлуатації фіксованої тривалості, розглядаються як результати контрольних випробувань на безвідмовність;

– щодо тих же моментів часу, у разі ухвалення рішення про відповідність показників безвідмовності зразків обладнання ЗРМТ встановленим вимогам, результати експлуатаційних спостережень і випробувань на надійність розглядаються як результати визначальних випробувань на безвідмовність;

– результати експлуатаційних спостережень і випробувань на безвідмовність, накопичені на сукупності інтервалів експлуатації фіксованої тривалості, розглядаються як початкові дані для оцінки показників залишкового ресурсу (терміну служби) і, після статистичної обробки, представлені у вигляді оцінок показників безвідмовності і середньоквадратичного відхилення (с.к.в.) цих оцінок, використовуються для побудови залежностей зміни величини показників безвідмовності зразків обладнання ЗРМТ від тривалості експлуатації і інших чинників і подальшої оцінки показників залишкового ресурсу (терміну служби).

Розроблена в [11] двоступенева процедура контролю за одним рівнем є досконалішою, оскільки передбачає зміну об'єму контрольних вимірювань в процесі їх проведення залежно від отриманих проміжних результатів випробувань на першому ступені випробувань. Проте ці методи не передбачають задоволення вимог до відтворюваності результатів контролю, можливості планування контрольних вимірювань з подальшою оцінкою величини показників надійності із заданою точністю і достовірністю у разі ухвалення позитивного рішення за результатами контролю.

Можливий напрям рішення задачі розробки раціональних планів контрольних вимірювань зразків обладнання ЗРМТ полягає в сумісному застосуванні принципу розподілу пріоритетів (ППП) [3] і методу контрольних вимірювань на надійність за одним контрольним рівнем з подальшою (у разі позитивного результату контролю) оцінкою показників надійності, що враховує апріорну інформацію про величину цього показника.

Як відомо, в середньому найбільш економічним при проведенні контрольних випробувань на надійність є контроль надійності за послідовною схемою контрольних випробувань її модифікаціям, за умови, що забезпечена незалежність спостережень, що послідовно проводяться. Проте, слід зазначити, що відомі в науково-технічній літературі процедури послідовного контролю і їх модифікації розглянуті тільки для контролю показників надійності за двома рівнями.

Для свого вирішення задача розробки раціонального плану контрольних вимірювань на надійність вимагає сумісного дослідження можливості використання послідовної процедури контрольних вимірювань при контролі надійності за одним рівнем і розробки процедури планування об'ємів контрольних вимірювань з урахуванням апріорної інформації про величину показника, що забезпечує виконання вимог до достовірності і відтворюваності результатів контролю, а також, у разі ухвалення позитивного рішення за результатами контролю, отримання оцінки показника надійності, що контролюється, із заданою точністю і достовірністю.

З вищевикладеного виходить доцільність сумісного застосування PPP і усіченого послідовного методу контролю надійності за одним рівнем, що враховує апріорну інформацію про величину показника, з багатоступінчатими лініями приймання і бракування, що реалізовує, при необхідності, можливість подальшої оцінки показника надійності, що контролюється, із заданою точністю і достовірністю у разі ухвалення позитивного рішення за результатами контролю, що і складає суть запропонованої процедури проведення раціональних контрольних випробувань.

**Висновки.** Таким чином, розроблені загальні положення удосконаленого методу оцінки показників надійності зразків обладнання ЗРМТ при експлуатації за технічним станом для вирішення завдань продовження призначених ресурсів (термінів служби)

включають:

– обґрунтування методу оцінки показників залишкового ресурсу (терміну служби) зразків обладнання ЗРМТ і визначення взаємозв'язаної сукупності завдань, вирішення яких необхідне для індивідуального продовження призначених ресурсів (термінів служби);

– визначення переліку і послідовності етапів удосконаленого методу оцінки показників надійності;

– обґрунтування необхідності розробки сукупності часткових методів і моделей випробувань і визначення послідовності їх застосування;

– обґрунтування допущень, використовуваних при розробці часткових методів і моделей випробувань;

– уточнення поняття раціонального плану контрольних випробувань на надійність на основі якісного аналізу методів цих випробувань.

При цьому сукупність часткових методів і моделей випробувань удосконаленого методу оцінки показників надійності зразків обладнання ЗРМТ включає метод обґрунтування початкових характеристик для планування випробувань, математичні моделі випробувань на безвідмовність, метод розрахунково-експериментальної оцінки показників залишкових ресурсів (термінів служби) обладнання ЗРМТ з використанням результатів підконтрольної і лідерної експлуатації і випробувань на надійність.

Комплексність у вирішенні сукупності названих завдань дозволяє забезпечити зниження сумарних витрат на ТЕ і Р обладнання ЗРМТ при експлуатації за технічним станом за рахунок узгодженого (взаємозв'язаного) планування і проведення випробувань на безвідмовність і довговічність (в порівнянні з роздільним плануванням і проведенням цих випробувань); індивідуального призначення моментів і об'ємів проведення ремонтів, корегування інших параметрів ТЕ і Р: періодичності і об'ємів ТЕ, номенклатури і кількості елементів ЗПП, складу експлуатаційного і ремонтного персоналу і тощо.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамов О.В. Контроль и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения. *Надежность и качество сложных систем*. 2018. № 4 (24). С. 108–115.

2. Баранов Г. Л., Носовський А. М., Тихонов І. В. Функціональна стійкість навігаційного обслуговування безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах: монографія. Київ: КДАВТ, 2012. 149 с.

3. Богом'я В. І., Коломієць О. М. Методи підвищення ефективності процесу експлуатації судових комплексів. *Новітні технології*. 2017. Вип. 1(3). С. 42–48.

4. Вычужанин В.В., Рудниченко Н.Д. Технические риски сложных комплексов функционально взаимосвязанных структурных компонентов судовых энергетических установок. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2014. № 2. С. 68–77.

5. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Електронний ресурс]. Режим доступу [https://dnaop.com/html/2273/doc\\_2860-94](https://dnaop.com/html/2273/doc_2860-94).

6. Колесников А. В. Кириков И. А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. Москва: ИПИ РАН, 2007. 387 с.

7. Критерій оптимальності процесу технічного обслуговування судових комплексів/ Тимошук О.М., Коломієць О. М., Даки О.А., Трофименко І.В. *Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України*. 2017. №4(29). С.132–136.

8. Кудрицька Н. В. Транспортнодорожній комплекс України: сучасний стан, проблеми та шляхи розвитку: монографія. Киев: НТУ, 2010. 338 с.

9. Кравченко Ю.В., Богом'я В.І., Тимошук О.М., Горбань А.В., Белоброва Т.А. За заг. ред. О. М. Тимошук. Моделювання та оптимізація інформаційних систем в судноводінні (підручник). Київ. ДУІТ. 2019. 314 с.

10. Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В. Навігаційне забезпечення управління рухом суден: навчальний посібник. Київ :ДВВП «Компас», 2012, 336 с.

11. Богом'я В.І., Єлезаров О.П., Павленко М. А., Тимочко О. І., Тимошук О.М. Основи технічної експлуатації автоматизованої системи управління судном: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ. ДУІТ. 2018. 305 с.

12. Богом'я В.І., Єлезаров О.П., Павленко М. А., Тимочко О. І., Тимошук О.М. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання. Київ, ДУІТ, 2018, 305 с.

## REFERENCES

1. Abramov O.V. (2018) Kontrol y prohnozyrovanye tekhnicheskogo sostoiannya system otvetstvennogo naznacheniya. *Nadezhnost y kachestvo slozhnykh system. № 4 (24)*, 108–115 [in Ukrainian].

2. Baranov H. L., Nosovskyi A. M. & Tykhonov I. V. (2012). *Funktsionalna stiikist navihatsiinoho obsluhovuvannia bezpeky sudnoplavstva na vnutrishnikh vodnykh shliakhakh: monohrafiia*. Kyiv: KDAVT [in Ukrainian].

3. Bohomia V. I. & Kolomiiets O. M. (2017). Metody pidvyshchennia efektyvnosti protsesu ekspluatatsii sudnovykh kompleksiv. *Novitni tekhnolohii. 2017. Vyp. 1(3)*. 42–48 [in Ukrainian].

4. Vychuzhanyn V.V. & Rudnychenko N.D. (2014). Tekhnicheskyye rysky slozhnykh kompleksov funktsionalno vzaemosv'iazannykh strukturnykh komponentov sudovykh enerhetycheskykh ustanovok. *Visnyk Odeskoho natsionalnogo morskoho universytetu. № 2*. 68–77. [in Ukrainian].

5. DSTU 2860-94. Nadiinist tekhniky. Terminy ta vyznachennia. <https://dnaop.com>. Retrieved from [https://dnaop.com/html/2273/doc\\_2860-94](https://dnaop.com/html/2273/doc_2860-94) [in Ukrainian].

6. Kolesnykov A. V. & Kyrykov Y. A. (2007). *Metodolohyia y tekhnolohyia resheniya slozhnykh zadach metodamy funktsionalnykh hybrydnykh yntellektualnykh system*. Moskva: YPY RAN [in Ukrainian].

7. Tymoshchuk O.M., Kolomiiets O. M., Daki O.A. & Trofymenko I.V. (2017). Kryterii optymalnosti protsesu tekhnichnogo obsluhovuvannia sudnovykh kompleksiv. *Nauka i tekhnika Povitrianykh syl Zbroinykh syl Ukrainy. №4(29)*. 132–136 [in Ukrainian].

8. Kudrytska N. V. 2010(). *Transportnodorozhnii kompleks Ukrainy: suchasnyi stan, problemy ta shliakhy rozvytku: monohrafiia*. Kyev: NTU [in Ukrainian].

9. Kravchenko Yu.V. Bohomia V.I., Gorban A.V., Belobrova T.A. & Tymoshchuk O.M. (2019). *Modeliuvannia ta optymizatsiia informatsiinykh system v sudnovodinni: pidruchnyk*. Kyiv :DUIT [in Ukrainian].

10. Bogomiya V.I., Davidov V.S., Doronin V.V., Pashkov D.P. & Tikhonov I.V. (2012). *Navihatsiine zabezpechennia upravlinnia rukhom suden: navchalnyi posibnyk*. Kyiv: DVVP «Komпас» [in Ukrainian].

11. Bogomiya V.I., Elleazarov O.P., Pavlenko M.A., Timochko O.I. & Timoshchuk O.M. (2018). *Osnovy tekhnichnoi ekspluatatsii avtomatyzovanoi systemy upravlinnia sudnom: pidruchnyk dlia studentiv vyshchyykh navchalnykh zakladiv*. Kyiv. DUIT [in Ukrainian].

12. Bogomiya V.I., Gorban A.V., Pavlenko M.A., Timochko O.I., & Timoshchuk O.M.(2018). *Osoblyvosti systemnogo pidkhodu do vyrishennia naukovykh zavdan ekspluatatsii sudnovoho obladdnannia*.Kyiv, DUIT [in Ukrainian].

**Bazhak Olga Valeriivna**

## **METHOD OF INCREASING SAFETY OF SHIPPING**

*The analysis of relevant sources of information shows that the indicators of the quality of passenger and cargo transportation, the level of accident-free navigation continue to improve. Particular attention is paid to measures to ensure a given level of safety. A significant role in this direction is the effective solution of navigation tasks. This further emphasizes the relevance of research to improve the efficiency of sea and river vehicles through the use of operational and reliable navigational information.*

*At present, advanced technological solutions based on satellite navigation are used to ensure a guaranteed level of reliability, accuracy and efficiency of navigation. Analysis of foreign and domestic experience in the development and implementation of navigation systems that use GNSS shows the possibility of significantly increasing their efficiency through the development of mathematical software and the use of so-called local radio navigation systems.*

*The most relevant in this direction is the use of local (pseudo-satellite) radio navigation systems that operate in the format of GNSS-signals with a variable or flexible structure. In such systems, radio navigation points are mobile, which allows you to quickly ensure the specified accuracy of navigation in a particular area of navigation.*

*The introduction of a threshold value on the probabilistic efficiency of the system forms the criterion of efficiency as a criterion of acceptable tolerance. Limit values of this indicator, as well as limitations on the accuracy of the system, which are part of the efficiency indicator, are set by the developer based on knowledge of tactical and technical characteristics of tools for deployment of pseudo-satellite radio navigation system and experience in their application in specific conditions.*

*Keywords: navigation support, reliability, accuracy and efficiency, pseudo-satellite radio navigation systems, radio navigation point, radio navigation information, GNSS signals*