

Державний університет інфраструктури та технологій
Міністерство освіти і науки України
Державний університет інфраструктури та технологій
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ТРОФИМЕНКО АНАСТАСІЯ ОЛЕГІВНА

УДК 519.873: 621.389(045)

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДИ І МОДЕЛІ СИНТЕЗУ УНІФІКОВАНОЇ КОНТРОЛЬНО-
ДІАГНОСТИЧНОЇ АПАРАТУРИ ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ**

271 «Річковий та морський транспорт»
27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

А.О. Трофименко

Науковий керівник: Тимощук Олена Миколаївна,
доктор технічних наук, професор

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Трофименко А.О. Методи і моделі синтезу уніфікованої контрольної діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 «Річковий та морський транспорт». – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2021.

На сьогодні в Україні склалася така ситуація, що головною проблемою засобів водного транспорту є значний моральний і фізичний знос транспортних засобів і портового обладнання. Це пов'язано з тим, що переважна більшість засобів водного транспорту України знаходиться в експлуатації понад (30...40) років. Цей фактор є причиною частих виходів з ладу складових блоків (елементів) засобів водного транспорту. А це, у свою чергу, обумовлює зайві витрати як матеріальних, так часових ресурсів на забезпечення перевезень вантажу та пасажирів річковим і морським транспортом. Крім того, відмова складових блоків (елементів) засобів водного транспорту може привести до катастрофи. Так, наприклад, відмова радіонавігаційного обладнання засобу водного транспорту може бути причиною зіткнення з іншим транспортом або перешкодою. Відмова в системі енергозабезпечення може привести до виходу з ладу всієї сукупності електронних і радіоелектронних приладів, у тому числі засобів сигналізації, радіолокаційного спостереження та зв'язку. Тому законодавство України потребує проведення у визначені терміни технічного контролю засобів водного транспорту.

Для забезпечення безаварійної експлуатації засобів водного транспорту необхідна відповідна система контролю їх технічного стану, яка задовольняє визначеним показникам ефективності. При цьому слід орієнтуватися на

сучасні зразки апаратури контролю – уніфіковану контрольно-діагностичну апаратуру на основі комп'ютерно-вимірювальних систем.

Таким чином, *науково-технічна задача, яка полягає у подальшому розвитку методів і моделей побудови та функціонування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для комплексної оцінки технічного стану засобів водного транспорту, є актуальною.*

Складна економічна ситуація держави не дозволяє провести заміну засобів водного транспорту, які відпрацювали встановлений гарантійний термін, у тому числі після капітального ремонту, на нові, більш сучасні. Тому операції контролю технічного стану засобів водного транспорту під час їх технічного обслуговування дозволяють підвищити рівень достовірності експлуатації справних засобів. Аналіз результатів дослідження цих питань показує, що більш 35% аварійних ситуації на воді відбувається з причин, пов'язаних з технічною несправністю засобів водного транспорту. І цей відсоток постійно зростає.

Результати досліджень з питань експлуатації, технічного обслуговування та ремонту засобів водного транспорту представлені у роботах Б.В. Васильєва, В.В. Паніна, С.І. Сербіна, М.М. Цимбала, Д.І. Севастєєва, Ю.Г. Дейнего, В.І. Богомї, О.М. Тимошук, С.Р. Смирнова та ін. Питання щодо автоматизації процесів контролю технічного стану при проведенні технічного обслуговування засобів водного транспорту при експлуатації розв'язувались у роботах І.О. Мачаліна, М.З. Згуровського, В.Д. Кудрицького, І.П. Атаманюка, В.С. Пугачова, В.М. Глушкова, Р.А. Варбанця, О.Г. Івахненка, Р.К. Мурасова та ін. Однак відомі роботи не містять результатів дослідження методів синтезу сучасної контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту, особливо уніфікованої. Таку апаратуру можливо застосовувати не тільки під час проведення періодичного технічного обслуговування засобів водного транспорту в порту, а й під час руху (на маршруті) при зниженні достовірності про справність їх складових блоків (елементів).

Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду впровадження систем автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту свідчить про можливість значного підвищення їх ефективності та якості функціонування на етапі експлуатації.

З іншого боку, витрати часу та матеріальних ресурсів на контроль технічного стану існуючих в Україні засобів водного транспорту під час експлуатації досягають 80% усіх витрат на технічне обслуговування, що чинить суттєвий вплив на узагальнені показники ефективності експлуатації таких засобів водного транспорту. Необхідність всілякого скорочення таких витрат має наслідком потребу у автоматизації процесів контролю технічного стану засобів водного транспорту. Розвиток та впровадження у практику автоматизованих систем контролю та діагностування, які набули широкого розповсюдження у останні часи, є наслідком науково-технічного прогресу у транспортній галузі.

Отже, *тема дисертаційної роботи*, яка присвячена розробці методів і моделей синтезу уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту, є *актуальною*.

Об'єкт дослідження – процеси синтезу контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Предмет дослідження – методи та моделі синтезу контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Мета дослідження – підвищенні достовірності та оперативності оцінки технічного стану засобів водного транспорту на етапі експлуатації.

Перший розділ дисертації присвячений вивченню результатів аналізу відомих методів і моделей синтезу засобів контролю для технічного обслуговування складних технічних комплексів, у тому числі засобів водного транспорту. У розділі обґрунтовані часткові завдання дослідження та методи їх розв'язання.

Обґрунтовані стратегії та умови застосування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для комплексної оцінки технічного стану засобів водного транспорту та удосконалений метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту наведені у другому розділі.

Третій розділ присвячений удосконаленню моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту та удосконаленню моделі функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури при врахуванні особливостей експлуатації засобів водного транспорту.

Результати проведення дослідження розроблених моделей і методів синтезу контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту, зроблені рекомендації щодо використання отриманих результатів та оцінка ефективності запропонованих наукових результатів дисертації наведені у четвертому розділі.

Наукова новизна отриманих у дисертації результатів полягає в наступному:

- отримав подальший розвиток метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту на основі запропонованої автоматизованої контрольно-діагностичної апаратури, який, на відміну від відомих, базується на комплексному обґрунтуванні раціональної організації технічного обслуговування засобів водного транспорту залежно від технічних характеристик контрольно-діагностичної апаратури;

- удосконалена модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту, яка відрізняється від відомих переходом від теоретико-множинного опису функціонування до графової моделі, що дозволяє спростити пошук варіантів синтезу складових апаратури та врахувати особливості експлуатації засобів водного транспорту;

- отримав подальший розвиток метод оцінки технічного стану радіоелектронних елементів засобів водного транспорту, який, на відміну від відомих, заснований на розробленій моделі багатоканальної уніфікованої

автоматизованої контрольно-діагностичної апаратури на основі теорії масового обслуговування з обмеженою кількістю каналів і накопичувачем заявок та дозволяє оцінити ефективність системи технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Отримані у роботі результати мають практичну спрямованість. Практичне значення полягає у тому, що розроблені метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту на основі запропонованої автоматизованої контрольно-діагностичної апаратури і метод оцінки технічного стану радіоелектронних елементів засобів водного транспорту, а також удосконалена модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту є основою для створення нового підходу до обґрунтування характеристик системи технічного обслуговування засобів водного транспорту з урахуванням особливостей їх експлуатації.

Отримані у роботі теоретичні результати можуть бути застосовані при розробці та створенні уніфікованої автоматизованої контрольно-діагностичної апаратури, у тому числі мобільної, для контролю та діагностування технічного стану засобів водного транспорту. Це дозволяє підвищити достовірність і оперативність технічного обслуговування засобів водного транспорту та скоротити витрати їх експлуатацію.

Методи дослідження базуються на теорії системного аналізу, теорії складних систем, теорії ефективності, теорії імовірності, теорії графів, теорії інтегрального та диференціального числення, математичному апараті марківських випадкових процесів, методів імітаційного моделювання.

Результати імітаційного моделювання отриманих результатів показали, що застосування запропонованих методів і моделей синтезу уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури при технічному обслуговуванні дозволяють підвищити достовірність контролю технічного стану з існуючого рівня 0,52 до рівня 0,85...0,95 залежно від комплексності їх застосування, підвищення достовірності становить від 24% до 40%.

За рахунок застосування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури при технічному обслуговуванні засобів водного транспорту відбувається зменшення параметрів контролю. Зменшення кількості параметрів контролю знижує час на проведення контролю технічного стану. Результати моделювання показали, що застосування запропонованих методів і моделей синтезу уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури призводить до зменшення часу контролю технічного стану засобів водного транспорту (підвищення оперативності) до 30%.

Економія коштів від застосування запропонованої контрольно-діагностичної апаратури становить приблизно 18% порівняно з існуючою системою контролю технічного стану засобів водного транспорту. Запропонована уніфікована контрольно-діагностична апаратура не гірша за основними показниками ефективності контролю технічного стану (достовірності та оперативності) закордонних аналогів, але значно дешевше у виготовленні та експлуатації. Економія коштів при аналогічних показниках ефективності технічного обслуговування засобів водного транспорту при експлуатації становить більше 30%.

Ключові слова: контрольно-діагностична апаратура, засоби водного транспорту, контроль технічного стану, модель, метод, достовірність, оперативність.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1.1. Богом'я В.І., Трофіменко А.О. Удосконалення системи експлуатації засобів водного транспорту в сучасних умовах // Новітні технології. – 2018. – Вип. 1 (5). – С. 99-110. DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.05 – *Фахове видання України.*

1.2. Трофіменко А.О., Давидов В.С., Завітаєв В.Л. Особливості застосування контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту // Наукоємні технології. – 2018. – № 4 (40). – С. 481-486. – DOI: 10.18372/2310-5461.40.13275. – *Фахове видання України.*

1.3. Дакі О.А., Штрибець В.В., Трофіменко А.О. Аналіз методів формування вимірювальних сигналів для контролю систем навігації // Наукоємні технології. – 2019. – № 1 (41). – С. 88-94. – DOI: 10.18372/2310-5461.41.13534. – *Фахове видання України.*

1.4. Iasechko M., Larin V., Ochkurenko O., Trystan A., Voichenko T., Trofymenko A., Sharabaiko O. Determining The Function Of Splitting The Charged Particles Of The Strongly Ionized Air Environment In The Openings Of The Case-Screens Of Radio Electronic Means // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – Vol. 8. – No. 1.3. – 2019. – P. 19-23. – DOI: 10.30534/ijatcse/2019/0481.32019. – *Наукометрична база Scopus.*

1.5. Трофименко А.О., Костенко О.Я., Синицький С.М., Філіппов І.Г., Сіньківський В.А. Модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою інформаційно-вимірювальної системи // Новітні технології. – 2019. – № 2 (9). – С. 62-69. – DOI: 10.31180/2524-0102/2019.2.09.07. – *Фахове видання України.*

1.6. Павленко М.А., Трофименко А.О. Математична модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту // Polish Journal of Science. – Vol. 1. – No. 30. – 2020. – P. 38-45. – *Журнал країни ЄС.*

1.7. Інформаційна безпека та інформаційні технології: монографія / За заг. ред. В.С. Пономаренка. – Х.: Вид. Рожко С.Г. – 2019. – 327 с. (п. 1.5. Принципи побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту / Дакі О.А., Трофименко А.О. – С. 77-91). <https://publons.com/journal/430038/-2019> – *Розділ монографії.*

1.8. Тимощук О.М., Бойко С.О., Трофименко А.О. Формалізація процесу технічної експлуатації елементів інтегрованої навігаційної системи. *Новітні технології.* 2019. Вип.3(10). С.13–24. <https://doi.org/10.31180/2524-0102/2019.3.10> – *Фахове видання України*

2. Апробація наукових результатів

2.1. Богом'я В.І., Трофименко А.О. Моделювання та дослідження діяльності організаційно-технічної системи контролю приладів управління та навігації засобів руху // International scientific and practical conference «Application of information technologies in the preparation and operation of law enforcement forces», 15 березня 2019 р. – Х.: НАНГУ. – 2019. – С. 17-18. http://kinf.nangu.edu.ua/since_files/Doc/tezNPK_2019.pdf.

2.2. Трофименко А.О., Мазур А.М. Особливості синтезу контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту // Збірник тез науково-практичної конференції студентів, аспірантів і викладачів Державного університету інфраструктури та технологій, 27-29 березня 2019 р. – К.: ДУіТ. – 2019. – С. 70-71. https://files.duit.edu.ua/uploads/Сайт/conference/zbirnyk-tez-2019-r_.pdf

2.3. Богом'я В.І., Трофименко А.О. Модель діяльності організаційно-технічної системи контролю приладів управління та навігації засобів руху // 15 Міжнар. наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 10-11 квітня 2019 р. – Х.: ХНУПС. – 2019. – С. 322-323. <http://www.hups.mil.gov.ua/assets/doc/science/conference/15/15.pdf>

2.4. Богом'я В.І., Трофименко А.О. Дослідження діяльності організаційно-технічної системи контролю приладів управління та навігації засобів водного транспорту // Матеріали дев'ятої міжнар. науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління», 11-12 квітня 2019 р. – Баку – Харків – Жиліна. – 2019. – С. 89.

2.5. Дакі О.А., Трофименко А.О. Обґрунтування принципів побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту. Інформаційна безпека та інформаційні технології: тези доп. міжн. наук.-практ.конф. (м. Харків, ХНЕУ, ЦУНТУ, 24-25 квітня 2019 року). – Харків. – 2019. – С. 5.
<http://www.hups.mil.gov.ua/assets/doc/science/conference/17/17.pdf>

2.6. Трофименко А.О., Дакі О.А. Разработка метода синтеза малогабаритной контрольно-диагностической аппаратуры для технического обслуживания средств водного транспорта // II Міжнародна науково-практична морська конференція кафедри СЕУ і ЕУ ННІ морського флоту.– Одеса. – 2020. – С.179–182.

2.7. Трофименко А.О. Особливості синтезу контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту // Міжнародна науково-практична конференція «Водний транспорт: сучасний стан та перспективи розвитку»: тези доповідей, 16-17 травня 2019 року. – К.: ДУІТ, 2019. – С. 387-388.

2.8. Трофименко А.О. Модель оцінки технічного стану інформаційно-вимірювальної системи // Тези доповідей сьомої міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми інформатизації”(13-15 листопада 2019 р.). – Черкаси: ЧДТУ, 2019. – Т. 3: секції 5 – 7. – С. 109.

2.9. Трофименко А.О. Обґрунтування вимог до інформаційного забезпечення вимірювального-діагностичних комплексів // 16 Міжнар. наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 15-16 квітня 2020 р. – Х.:

ХНУПС. – 2020. – С. 534.

<http://www.hups.mil.gov.ua/assets/doc/science/conference/16/xvi-conf-hnups.pdf>

2.10. Павленко М.А., Трофименко А.О. Вибір раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту // Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference «Problems of implementation of science into practice» (20-21 April, 2020). – Oslo, Norway. – 2020. – Pp. 319-323.

3. Додаткові публікації.

3.1. Штрибець В.В., Трофименко А.О., Шевченко А.П. Розроблення фільтрових методів спектрального аналізу випадкових сигналів для контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту // Slovak international scientific journal. – Vol. 1. – No. 34. – 2019. – P. 30-38. – *Журнал країни ЄС*.

3.2. Штрибець В.В., Трофименко А.О. Методи спектрального аналізу випадкових сигналів для контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції «Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку», 20-21 листопада 2019 р. – К.: ДУІТ, 2019. – С. 152-155.

3.3. Богом'я В.І., Трофименко А.О. Удосконалення системи експлуатації водного транспорту // Науково-технічна конференція «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу», 24-25 квітня 2018 р. – Київ: Мінприроди, ДЕА. – 2018. – С. 56–57.
<http://www.dea.edu.ua/img/source/Doc/tezu.pdf>

ANNOTATION

Trofymenko A.O. Methods and models of synthesis of compatible control-diagnostic apparatus are for technical maintenance of facilities of water-carriage. it is Qualifying scientific work on rights for a manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of Ph.D. after speciality 271 the «River and marine transport». it is the State university of infrastructure and technologies, Kyiv, 2019.

For today there was such situation to Ukraine, that the main problem of facilities of water-carriage is a considerable moral and physical wear of transport vehicles and port equipment. It is related to that swingeing majority of facilities of water-carriage of Ukraine is in exploitation over (30.40) years. This factor is reason of frequent deaths component blocks (elements) of facilities of water-carriage. And it, in turn, stipulates superfluous charges as material, such sentinel resources on providing of transportations of load and passengers by a river and marine transport. In addition, the refuse of component blocks (elements) of facilities of water-carriage can result in a catastrophe. So, for example, a refuse of радіонавігаційного equipment to the mean of water-carriage can be reason of collision with other transport or obstacle. A refuse in the system of енергозабезпечення can result in death all aggregate of electronic and radio electronic devices, including facilities of signaling, радіолокаційного supervision and connection. Therefore the legislation of Ukraine requires realization in the certain terms of technical control of facilities of water-carriage.

For providing of accident-free exploitation of facilities of water-carriage the corresponding checking of them system is needed the technical state, which satisfies to the certain indexes of efficiency. Thus it follows to be oriented on the modern standards of control apparatus - compatible control-diagnostic apparatus on the basis of the computer-measuring systems.

Thus, *a scientific and technical task which consists in further development of methods and models of construction and functioning of compatible control-diagnostic apparatus for the complex estimation of the technical state of facilities of water-carriage* is actual.

The difficult economic situation of the state does not allow to conduct replacement of facilities of water-carriage, which worked the set warranty term, including after major repairs, on new, more modern. Therefore the operations of control of the technical state of facilities of water-carriage during their technical service the level of authenticity of exploitation of in good condition facilities allows to promote. The analysis of results of research of these questions shows that more 35% emergency to the situation on water place is taken on reasons, facilities of water-carriage related to the technical disrepair. And this percent grows constantly.

The results of researches on questions exploitation, technical service and repair of facilities of water-carriage are presented in works of Б.В. Васильєва, В.В. Паніна, С.І. Сербіна, М. М. Цимбала, Д.І. Севастєєва, Ю.Г. Дейнего, В.І. by Godof ĭ, О. And. Оніщенко, С.Р. of Smirnov and other Questions in relation to automation of processes of control of the technical state during servicing of facilities of water-carriage during exploitation got untied in works of І.О. Мачаліна, М. From. Згуровського, В.Д. Кудрицького, І.П. Атаманюка, В.С. of Pugachev, В.М. Глушкова, And. Варбанця, О. of Г. Івахненка, К. Мурасова and other However the known works contain the results of research of methods of synthesis of modern control-diagnostic apparatus for technical maintenance of facilities of water-carriage, especially compatible. Such apparatus it is possible to apply not only during realization of periodic technical maintenance of facilities of water-carriage in port but also during motion (enroute) at the decline of authenticity about the good condition of their component blocks (elements). The analysis of foreign and home experience of introduction of the systems of automation of control of the technical state of facilities of water-carriage testifies

to possibility of considerable increase of their efficiency and quality of functioning on the stage of exploitation.

On the other hand, the charges of time and material resources on control of the technical state of existing in Ukraine facilities of water-carriage during exploitation arrive at 80% of all charges on technical service which renders substantial influence on the generalized indexes of efficiency of exploitation of such facilities of water-carriage. The necessity of various cutback of such spending needs a consequence in automation of processes of control of the technical state of facilities of water-carriage. Development and introduction in practice of CASS of control and diagnostics, which purchased wide distribution in the last times, are the consequence of scientific and technical progress in a transport industry.

Thus, *a theme of dissertation work*, sanctified to development of methods and models of synthesis of compatible control-diagnostic apparatus for technical maintenance of facilities of water-carriage, is *actual*.

A research object is processes of synthesis of control-diagnostic apparatus for technical maintenance of facilities of water-carriage.

The article of research is methods and models of synthesis of control-diagnostic apparatus for technical maintenance of facilities of water-carriage.

Research aim - increase of authenticity and operationability of estimation of the technical state of facilities of water-carriage on the stage of exploitation.

The first division of dissertation is sanctified to the study of results of analysis of the known methods and models of synthesis of controls for technical maintenance of difficult technical complexes, including facilities of water-carriage. The partial tasks of research and methods of their decision are reasonable in a division.

Reasonable strategies and terms of application of compatible control-diagnostic apparatus for the complex estimation of the technical state of facilities of water-carriage and improved method of choice of the rational technical checking of facilities of water-carriage system are driven to the second division.

The third division is sanctified to the improvement of model of estimation of the technical state of facilities of water-carriage and improvement model of functioning of constituents of control-diagnostic apparatus at the account of features of exploitation of facilities of water-carriage.

Results of realization of research of the worked out models and methods of synthesis of control-diagnostic apparatus for technical maintenance of facilities of water-carriage, the done recommendations in relation to drawing on the got results and estimation of efficiency of the offered scientific results of dissertation are driven to the fourth division.

The scientific novelty of the results got in dissertation consists in the following:

- the method of choice of the rational technical checking of facilities of water-carriage on the basis of the offered automated control-diagnostic apparatus, which, unlike known, is based on the complex ground of rational organization of technical maintenance of facilities of water-carriage depending on technical descriptions of control-diagnostic apparatus, system got further development;

- improved model of functioning of constituents of control-diagnostic apparatus for control of the technical state of facilities of water-carriage, which differs from known a transition from set-theoretic description of functioning to the графової model, that allows to simplify the search of variants of synthesis of constituents of apparatus and take into account the features of exploitation of facilities of water-carriage;

- the method of estimation of the technical state of radio electronic elements of facilities of water-carriage, which, unlike known, is based on the worked out model of the multichannel compatible automated control-diagnostic apparatus on the basis of theory of mass service with the limited amount of channels and store of requests and allows to estimate efficiency of the system of technical maintenance of facilities of water-carriage, got further development.

The results got in-process have a practical orientation. A practical value consists in that the method of choice of the rational technical checking of facilities

of water-carriage system on the basis of the offered automated control-diagnostic apparatus and method of estimation of the technical state of radio electronic elements of facilities of water-carriage are worked out, and also the improved model of functioning of constituents of control-diagnostic apparatus for control of the technical state of facilities of water-carriage is basis for creation of the new going near the ground of descriptions of the system of technical maintenance of facilities of water-carriage taking into account the features of their exploitation.

The theoretical results got in-process can be applied at development and creation of the compatible automated control-diagnostic apparatus, including mobile, for control and diagnosing of the technical state of facilities of water-carriage. It allows to promote authenticity and operationability of technical maintenance of facilities of water-carriage and cut down expenses their exploitation.

Research methods are based on are based on the theory of analysis of the systems, theory of the difficult systems, theory of efficiency, probability, theory of the graphs, theory of integral and differential calculation theory, mathematical vehicle of марківських casual processes, simulation techniques.

The results of imitation design of the got results showed that application of the offered methods and models of synthesis of compatible control-diagnostic apparatus at technical service it is allowed to promote authenticity of control of the technical state from an existent level 0,52 to the level 0,85.0,95 depending on the complexity of their application, increase of authenticity presents from 24% to 40%.

Due to application of compatible control-diagnostic apparatus there is diminishing of parameters to control at technical maintenance of facilities of water-carriage. Diminishing to the amount of control parameters diminishes time on realization of control of the technical state. Design results showed that application of the offered methods and models of synthesis of compatible control-diagnostic apparatus resulted in diminishing to time of control of the technical state of facilities of water-carriage to 30%.

The offered is compatible a control-diagnostic apparatus is not worst on the basic indexes of efficiency of control of the technical state (to authenticity and operationability) of foreign analogues, but considerably cheaper in made and exploitations. Cost effectiveness at the analogical indexes of efficiency of technical maintenance of facilities of water-carriage during exploitation presents anymore 300%.

Keywords: control-diagnostic apparatus, facilities of water-carriage, control of the technical state, model, method, authenticity, operationability.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів ...	20
Вступ	21
Розділ 1 Аналіз методів і засобів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту. Обґрунтування завдань, напрямів і методів дослідження	30
1.1 Особливості експлуатації засобів водного транспорту України	30
1.2 Аналіз засобів водного транспорту як об'єктів контролю	34
1.3 Дослідження сучасних і перспективних систем автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту	37
1.4 Розробка пропозицій щодо напрямків і завдань подальшої розробки уніфікованої контрольної-діагностичної апаратури	44
1.5 Постановка науково-технічної задачі та обґрунтування методів дослідження	49
Висновки по розділу 1	53
Розділ 2 Розробка методу вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту	55
2.1 Загальний аналіз науково-технічної задачі автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорт	55
2.2 Пропозиції до синтезу контрольної-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту	59
2.3 Загальний критерій оптимізації синтезу підсистем отримання вимірювальної інформації контрольної-діагностичної апаратури	66
2.4 Метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту	72
Висновки по розділу 2	79
Розділ 3 Розробка моделі функціонування складових контрольної-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту	81
3.1 Особливості застосування контрольної-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту	81

3.2 Модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою контрольно-діагностичної апаратури	88
3.3 Математична модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту	99
Висновки по розділу 3	112
Розділ 4 Модель оцінки технічного стану складових елементів засобів водного транспорту. Дослідження розроблених методів і моделей	114
4.1 Розробка методу оптимального синтезу параметрів уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури	114
4.2 Аналіз особливостей тестування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури	120
4.3 Модель оцінки технічного стану радіоелектронних елементів засобів водного транспорту	124
4.4 Оцінка ефективності застосування запропонованих методів і моделей	139
Висновки по розділу 4	144
Висновки	146
Список використаних джерел	151
Додатки	168

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

АЦП	–	аналого-цифровий перетворювач
БУ	–	блок управління
ЕОМ	–	електронно-обчислювальна машина
КВС	–	комп'ютерно-вимірювальна система
КДА	–	контрольно-діагностична апаратура
ПЗ	–	програмне забезпечення
РЕЕ	–	радіоелектронні елементи
ТЕЗ	–	типовий елемент заміни
ФМ	–	функціональний модуль

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. На сьогодні в Україні склалася така ситуація, що головною проблемою засобів водного транспорту є значний моральний і фізичний знос транспортних засобів і портового обладнання. Це пов'язано з тим, що переважна більшість засобів водного транспорту України знаходиться в експлуатації понад (30...40) років [2], [3], [42], [112], [132]. Цей фактор є причиною частих виходів з ладу складових блоків (елементів) засобів водного транспорту. А це, у свою чергу, обумовлює зайві витрати як матеріальних, так часових ресурсів на забезпечення перевезень вантажу та пасажирів річковим і морським транспортом. Крім того, відмова складових блоків (елементів) засобів водного транспорту може привести до катастрофи. Так, наприклад, відмова радіонавігаційного обладнання засобу водного транспорту може бути причиною зіткнення з іншим транспортом або перешкодою. Відмова в системі енергозабезпечення може привести до виходу з ладу всієї сукупності електронних і радіоелектронних приладів, у тому числі засобів сигналізації, радіолокаційного спостереження та зв'язку. Тому законодавство України потребує проведення у визначені терміни технічного контролю засобів водного транспорту [60], [75], [112], [113].

Для забезпечення безаварійної експлуатації засобів водного транспорту необхідна відповідна система контролю їх технічного стану, яка задовольняє визначеним показникам ефективності [10], [39], [54], [72], [121]. При цьому слід орієнтуватися на сучасні зразки апаратури контролю – уніфіковану контрольну-діагностичну апаратуру (КДА) на основі комп'ютерно-вимірювальних систем (КВС) [1], [14], [50], [100], [114].

Крім того, об'єктивною тенденцією розвитку засобів водного транспорту на сучасному етапі є зростання їхньої складності. Це обумовлено

розширенням кола задач, які вирішуються засобами водного транспорту, з одночасним підвищенням вимог до ефективності, технічної готовності та експлуатаційної надійності [141], [143], [151]. Одним з основних напрямків удосконалення системи експлуатації засобів водного транспорту є розвиток системи їх контролю (оцінки) технічного стану [11], [55], [64], [105], [136]. Результати контролю технічного стану засобів водного транспорту на етапі експлуатації є інформаційною основою для прийняття рішень щодо управління їх технічним станом, висновку щодо можливості їх подальшої експлуатації.

Однією з тенденцій технічного прогресу при створенні КДА є перехід до її побудови з використанням модульного принципу [34], [46], [65], [118]. Основна перевага модульного принципу побудови – наявність потенційної можливості забезпечити попереднє, ще до початку проектування, упорядкування складу елементів модульних складових. Реалізація такої можливості дозволить ліквідувати (не допустити) розрізнення конструкторських робіт приладобудівної промисловості, яке неминуче веде до зайвого витрачання коштів, надмірного збільшення обсягу номенклатури КДА, суттєвого ускладнення їх експлуатації та ремонту, збільшення їхньої собівартості та вартості експлуатації [1], [22], [50], [144], [147].

Модульний принцип побудови знаходить все більше застосування в різноманітних зарубіжних програмах розвитку контрольованого обладнання [38], [81], [144], [147].

Таким чином, *науково-технічна задача, яка полягає у подальшому розвитку методів і моделей побудови та функціонування уніфікованої контрольовано-діагностичної апаратури для комплексної оцінки технічного стану засобів водного транспорту, є актуальною.*

Складна економічна ситуація держави не дозволяє провести заміну засобів водного транспорту, які відпрацювали встановлений гарантійний термін, у тому числі після капітального ремонту, на нові, більш сучасні. Тому

операції контролю технічного стану засобів водного транспорту під час їх технічного обслуговування дозволяє підвищити рівень достовірності експлуатації справних засобів. Аналіз результатів дослідження цих питань показує, що більш 35% аварійних ситуації на воді відбувається з причин, пов'язаних з технічною несправністю засобів водного транспорту. І цей відсоток постійно зростає [8], [68], [70], [132].

Результати досліджень з питань експлуатації, технічного обслуговування та ремонту засобів водного транспорту представлені у роботах Б.В. Васильєва, В.В. Паніна, С.І. Сербіна, М.М. Цимбала, Д.І. Севаст'єєва, Ю.Г. Дейнего, В.І. Богом'ї, О.М. Тимошук, С.Р. Смирнова та ін. Питання щодо автоматизації процесів контролю технічного стану при проведенні технічного обслуговування засобів водного транспорту при експлуатації розв'язувались у роботах І.О. Мачаліна, М.З. Згуровського, В.Д. Кудрицького, І.П. Атаманюка, В.С. Пугачова, В.М. Глушкова, Р.А. Варбанця, О.Г. Івахненка, Р.К. Мурасова та ін. Однак відомі роботи не містять результатів дослідження методів синтезу сучасної КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту, особливо уніфікованої. Таку апаратуру можливо застосовувати не тільки під час проведення періодичного технічного обслуговування засобів водного транспорту в порту, а й під час руху (на маршруті) при зниженні достовірності про справність їх складових блоків (елементів) [142], [146], [153]. Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду впровадження систем автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту свідчить про можливість значного підвищення їх ефективності та якості функціонування на етапі експлуатації [96], [150], [152].

З іншого боку, витрати часу та матеріальних ресурсів на контроль технічного стану існуючих в Україні засобів водного транспорту під час експлуатації досягають 80% усіх витрат на технічне обслуговування, що чинить суттєвий вплив на узагальнені показники ефективності експлуатації

таких засобів водного транспорту [68], [70], [111]. Необхідність всілякого скорочення таких витрат має наслідком потребу у автоматизації процесів контролю технічного стану засобів водного транспорту. Розвиток та впровадження у практику автоматизованих систем контролю та діагностики, які набули широкого розповсюдження у останні часи, є наслідком науково-технічного прогресу у транспортній галузі.

Отже, *тема дисертаційної роботи*, присвячена розробці методів і моделей синтезу уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту, є *актуальною*.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Вибраний авторкою напрямок дослідження тісно пов'язаний з положеннями Морської доктрини України на період до 2035 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 р. № 13074, та її нової редакції, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 18 грудня 2018 р.; здійснюється відповідно до Галузевої програми забезпечення безпеки судноплавства на 2014-2018 роки, відповідно до основних напрямів розвитку, визначених у Транспортній стратегії України на період до 2020 р., затвердженій розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р.

Дисертаційна робота виконана у інтересах науково-дослідної роботи: «Розробка комплексного показника якості пасажирських круїзних суден змішаного плавання в системі безпересадкових круїзних перевезень між портами Дніпра, Чорного моря та Дунаю» (номер держреєстрації 0116U03946), яка виконувалася у Київській державній академії водного транспорту, у якій авторка приймала участь як виконавець.

Мета та завдання дослідження.

Мета дослідження – підвищенні достовірності та оперативності оцінки технічного стану засобів водного транспорту на етапі експлуатації.

Для досягнення мети дослідження необхідно розв'язати наступні часткові наукові завдання.

1. Провести аналіз відомих методів і моделей синтезу засобів контролю для технічного обслуговування складних технічних комплексів, у тому числі засобів водного транспорту.

2. Обґрунтувати стратегії та умови застосування уніфікованої КДА для комплексної оцінки технічного стану засобів водного транспорту.

3. Удосконалити метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту.

4. Удосконалити модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту.

5. Удосконалити модель функціонування складових КДА при врахуванні особливостей експлуатації засобів водного транспорту.

6. Удосконалити метод оцінки технічного стану складових блоків (елементів) засобів водного транспорту (на прикладі радіоелектронних елементів) для оцінки ефективності системи технічного обслуговування засобів водного транспорту.

7. Розробити метод оцінки ефективності застосування запропонованої уніфікованої КДА для контролю технічного стану засобів водного транспорту.

8. Обґрунтувати показники ефективності застосування уніфікованої КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту.

9. Провести дослідження розроблених методів і моделей синтезу уніфікованої КДА, перевірити їх на адекватність.

10. Розробити рекомендації щодо застосування уніфікованої КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту на етапі експлуатації.

Об'єкт дослідження – процеси синтезу КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Предмет дослідження – методи та моделі синтезу КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Методи дослідження базуються на теорії системного аналізу, теорії складних систем, теорії ефективності, теорії імовірності, теорії графів, теорії

інтегрального та диференціального числення, математичному апараті марківських випадкових процесів, методів імітаційного моделювання.

Наукова новизна отриманих у дисертації результатів.

1. Отримав подальший розвиток метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту на основі запропонованої автоматизованої контрольної-діагностичної апаратури, який, на відміну від відомих, базується на комплексному обґрунтуванні раціональної організації технічного обслуговування таких засобів залежно від технічних характеристик відповідної апаратури контролю та дозволяє проводити синтез системи технічного обслуговування таких засобів для підвищення достовірності та оперативності проведення їх технічного контролю.

2. Удосконалена модель функціонування складових контрольної-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту, яка відрізняється від відомих переходом від теоретико-множинного опису функціонування до графової моделі, що дозволяє спростити пошук варіантів синтезу складових апаратури та врахувати особливості експлуатації засобів водного транспорту.

3. Отримав подальший розвиток метод оцінки технічного стану радіоелектронних елементів засобів водного транспорту, який, на відміну від відомих, заснований на розробленій моделі багатоканальної уніфікованої автоматизованої контрольної-діагностичної апаратури на основі теорії масового обслуговування з обмеженою кількістю каналів і накопичувачем заявок та дозволяє оцінити ефективність системи технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані у роботі результати мають практичну спрямованість. Практичне значення полягає у тому, що розроблені метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту на основі запропонованої автоматизованої КДА і метод оцінки технічного стану

радіоелектронних елементів засобів водного транспорту, а також удосконалена модель функціонування складових КДА для контролю технічного стану засобів водного транспорту є основою для створення нового підходу до обґрунтування характеристик системи технічного обслуговування засобів водного транспорту з урахуванням особливостей їх експлуатації.

Отримані у роботі теоретичні результати можуть бути застосовані при розробці та створенні уніфікованої автоматизованої КДА, у тому числі мобільної, для контролю та діагностування технічного стану засобів водного транспорту. Це дозволяє підвищити достовірність і оперативність технічного обслуговування засобів водного транспорту та скоротити витрати на їх експлуатацію.

Впровадження отриманих результатів. Основні результати дослідження були впроваджені: у ТОВ «Червона рута» (акт про впровадження від 12 жовтня 2020 р. №82/260/2) при виконанні контролю технічного стану суден; у Державному університеті інфраструктури та технологій (акт про впровадження від 16 вересня 2020 №19/18-а) під час створення курсу лекцій з дисципліни «Інформаційні системи технічного забезпечення суден».

Одержані результати дослідження доведені до методів і моделей і мають високий ступінь готовності до використання.

Копії Актів впровадження результатів дисертаційного дослідження представлені у додатку А.

Особистий внесок здобувача.

Нові наукові результати дисертації отримані здобувачкою особисто. В основних наукових роботах, які написані в співавторстві, здобувачці належать: [16] – пропозиції щодо удосконалення системи експлуатації засобів водного транспорту; [44] – удосконалений метод формування вимірювальних сигналів для контролю систем навігації; [63] – принципи автоматизації приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту; [102] – метод обґрунтування

раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту; [103] – математична модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту; [125] – оцінка ефективності застосування контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту; [126] – модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою інформаційно-вимірювальної системи; [138] – пропозиції щодо методу контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту; [145] – оцінка технічного стану радіоелектронних пристроїв.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися та були схвалені на 2 наукових, 5 науково-технічних і 5 науково-практичних конференціях, у тому числі міжнародних: ІХ міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління», м. Харків (11 – 12 квітня 2019 року) [17]; науково-практичній конференції «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку», м. Харків (15 березня 2019 року) [18]; 15 і 16 міжнародних наукових конференціях «Новітні технології – для захисту повітряного простору», м. Харків (квітень 2019, 2020 років) [19], [131]; міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційна безпека та інформаційні технології, м. Харків (24 – 25 квітня 2019 року) [45]; XIV міжнародній науково-технічній конференції «Water transport problems», м. Баку (2 – 3 травня 2019 року) [104]; науково-практичній конференції студентів, аспірантів і викладачів Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ (27-29 березня 2019 року) [127]; міжнародній науково-практичній конференції «Водний транспорт: сучасний стан та перспективи розвитку», м. Київ (16 – 17 травня 2019 року) [128]; міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації», м. Черкаси (13-15 листопада 2019 року) [129]; міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ»,

м. Львів (16 – 17 травня 2019 року) [130]; всеукраїнській науково-технічній інтернет-конференції «Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку», м. Київ (20-21 листопада 2019 року) [137].

Публікації результатів дисертації. Основні наукові результати дисертації опубліковані у 21 науковій праці: у 9 статтях (6 статей у виданнях, що занесені до переліку наукових фахових видань України в галузі технічні науки; 1 стаття у виданні, що занесено до наукометричної бази Scopus; 2 статті у закордонних журналах країн ЄС.

Крім того, за матеріалами дисертації опубліковано 12 тез доповідей на наукових, науково-технічних і науково-практичних конференціях, у тому числі міжнародних. Матеріали дослідження увійшли до звіту про науково-дослідну роботу. Перелік наукових праць за результатами дисертаційного дослідження наведений у додатку Б.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків; викладена на 175 сторінках друкованого тексту та містить 130 сторінок основного тексту, 16 рисунків, 4 таблиці, список використаних джерел з 156 найменувань на 17 аркушах, 3 додатки на 8 аркушах.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ.
ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАВДАНЬ, НАПРЯМІВ І
МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

У розділі наведено особливості експлуатації засобів водного транспорту України, проведено аналіз засобів водного транспорту як об'єктів контролю. Досліджено сучасні та перспективні системи автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту. Розроблені пропозиції щодо напрямків і завдань подальшої розробки уніфікованої контрольної-діагностичної апаратури, сформульовані часткові завдання дослідження та обґрунтовані методи його проведення.

1.1 Особливості експлуатації засобів водного транспорту України

За допомогою засобів водного транспорту перевозиться більша частина вантажів у всьому світі. Це обумовлено перевагами такого транспорту серед іншими [42], [58], [79], [95], [122]:

- велика вантажопідйомність, що дозволяє перевозити значні партії вантажу;
- відносно низька собівартість перевезень;
- практично відсутні обмеження на пропускну здатність.

Доставка вантажів засобами водного транспорту характеризується своєю універсальністю, надійністю та невисокою ціною, особливо ефективний цей спосіб при перевезенні великих обсягів вантажу [95], [130].

Основною проблемою засобів водного транспорту України є значний моральний і фізичний знос транспортних засобів і портового обладнання. Середній термін експлуатації суден України становить від 30 років до

40 років, і з огляду на їхній технічний стан переважна більшість західних портів забороняє таким суднам вхід на внутрішній рейд [16], [44] (рис. 1.1).

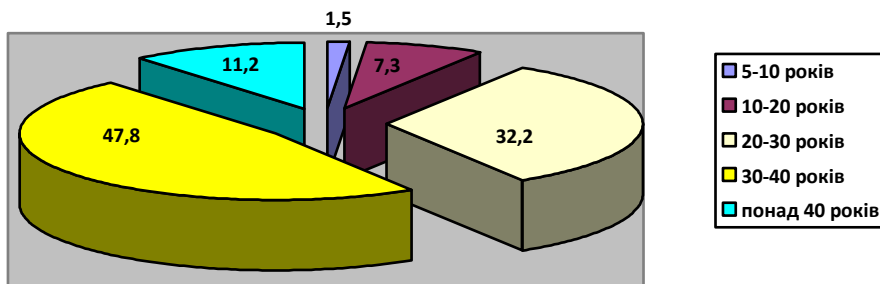


Рисунок 1.1 – Розподіл засобів водного транспорту України за роками експлуатації

У відповідності до законодавства України потрібно забезпечувати технічний нагляд та судноплавний нагляд за морськими та річковими суднами незалежно від форм власності судна та його власника [17], [60].

Основними елементами засобів водного транспорту, які відповідають за безпеку мореплавства, охорону людського життя та навколишнього природного середовища, є радіоелектронні елементи (РЕЕ), до яких відносять: суднові засоби зв'язку, електро-радіонавігаційні прилади, радіотехнічні та радіоелектронні прилади пошукової техніки та мореплавних інструментів [4], [6], [20], [30], [91], [139], [156]. Отже, для забезпечення безаварійної експлуатації складових блоків (елементів) засобів водного транспорту, у тому числі РЕЕ, необхідна відповідна система контролю їх технічного стану, яка задовольняє визначеним показникам ефективності.

Результати аналізу аварійності на річковому та морському транспорті України свідчать про поступове збільшення їх кількості (рис. 1.2).

З рисунку 1.3 видно, що рівень аварійності на річковому та морському транспорті України зріс майже у 4 рази за останні 6 років. Це пов'язано переважно з поступовою втратою технічного ресурсу блоків (елементів) засобів водного транспорту, що пов'язано з їх тривалою експлуатацією [132].

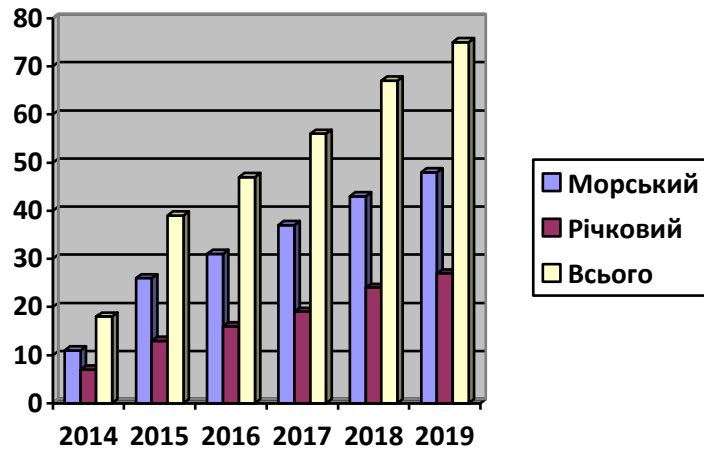


Рисунок 1.2 – Рівень аварійності засобів водного транспорту України

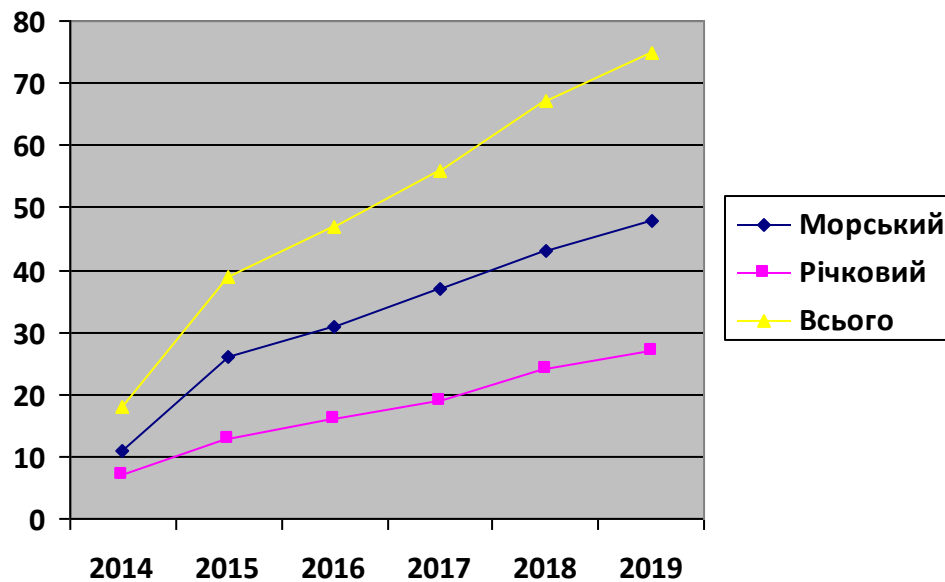


Рисунок 1.3 – Зростання аварійності засобів водного транспорту України

Результати аналізу причин аварійності засобів водного транспорту України (рис. 1.4, рис. 1.5) підтверджують попередній висновок про вплив технічного стану засобів водного транспорту на аварійність.

Аналіз рисунків 1.2 – 1.5 свідчить про збільшення аварійності засобів водного транспорту України за рахунок незадовільного технічного стану.

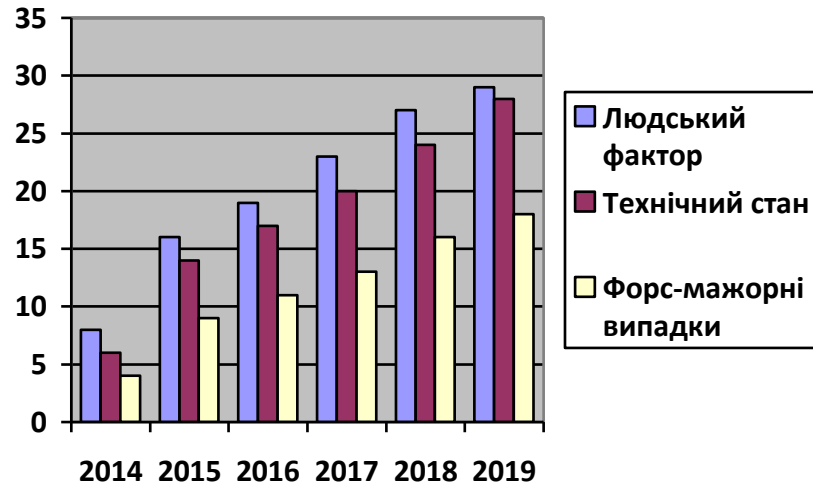


Рисунок 1.4 – Розподіл аварійності засобів водного транспорту України

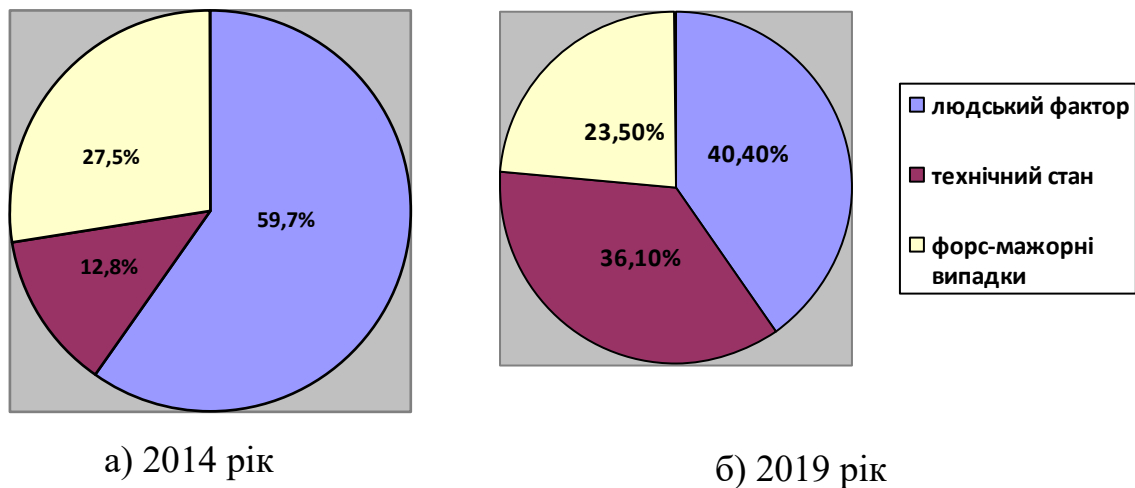


Рисунок 1.5 – Аналіз факторів аварійності засобів водного транспорту України

Отже, аналіз аварійності під час експлуатації засобів водного транспорту України показує необхідність удосконалення їх системи контролю та діагностування технічного стану при проведенні операцій технічного обслуговування. Причиною цього є складність відповідних засобів, збільшення частки перевезень такими транспортними засобами. Це підтверджує актуальність дослідження, яке направлене на розроблення

методів і моделей підвищення ефективності контролю технічного стану засобів водного транспорту за рахунок встановлення закономірностей змінювання параметрів технічного стану у процесі експлуатації, впровадження сучасних методів і засобів діагностування та прогнозування технічного стану засобів водного транспорту для забезпечення потрібної ефективності використання таких засобів і надійності їх роботи [89], [154].

1.2 Аналіз засобів водного транспорту як об'єктів контролю

Для підтримання технічної готовності засобів водного транспорту необхідно надавати обслуговуючому персоналу достовірну інформацію про їх технічний стан. Основним джерелом такої інформації є проведення регламентних і контрольних-діагностичних робіт на блоках (елементах) засобів водного транспорту за допомогою штатних засобів контролю, які є обов'язковою складовою частиною засобів водного транспорту. У зв'язку з цим, актуальною є побудова сучасної автоматизованої КДА, яка дозволяє підвищити рівень технічної готовності та зменшити вартість експлуатації засобів водного транспорту за рахунок автоматизації контрольних-діагностичних робіт на всіх етапах життєвого циклу [35], [68], [138], [144].

Засоби водного транспорту є складною технічною системою, яка характеризується різноманітними показниками та складається з великої кількості різноманітних елементів, які взаємодіють між собою [23], [24], [31], [48]. Багато авторів займалися удосконаленням методів їх технічної експлуатації та ремонту, як основного способу підтримання технічної готовності засобів водного транспорту в сучасних умовах [41], [50], [54]; питаннями прогнозування довговічності засобів водного транспорту [9], [21]; та залишкового терміну служби засобів водного транспорту під час експлуатації за технічним станом [13], [96]. У роботі [27] наведені загальні

вимоги до КДА, що використовуються при проектуванні [50], а у роботі [36] визначаються основні напрями і методи підвищення ефективності автономних автоматизованих систем технічного діагностування радіоелектронних засобів. Але методи побудови сучасних мобільних уніфікованих автоматизованих засобів КДА засобів водного транспорту є недостатньо дослідженими.

Аналіз типів засобів водного транспорту дозволяє визначити складові блоки (елементи), що мають єдине призначення, та однаковий перелік параметрів контролю [5], [26], [48], [69], [78], [98], [117]:

- блок радіонавігаційного забезпечення;
- система управління роботи двигунів;
- радіолокаційні станції виявлення перешкод;
- апаратура радіозв'язку та передачі інформації;
- система управління рухом (для сучасних засобів система автопілоту);
- блок енергозабезпечення.

Це дозволяє побудувати за модульним принципом універсальну малогабаритну КДА, яка буде не складніше спеціалізованої, але зможе обслуговувати значно більше типів різних складових блоків (елементів) засобів водного транспорту.

Аналіз перспективних засобів водного транспорту дозволив виявити якісні їх відмінності від попередніх зразків, головними з яких є [82], [101], [148], [150]:

- програмно-термінальний метод управління рухом, який поєднує основні переваги програмного та термінального методів управління;
- комбінований спосіб управління рухом за інформацією від системи автоматичного керування, наземних систем радіонавігації, космічних навігаційних систем та інтелектуальної вбудованої системи контролю бортового обладнання;

– наявність у засобів водного транспорту обчислювального комплексу, що дає можливість змінювати параметри траєкторії руху;

– оснащення засобів водного транспорту системою штучного інтелекту, здатною забезпечити прийняття рішень щодо ідентифікації перешкоди та вибору оптимальної траєкторії руху залежно від умов навколишнього середовища.

Тенденцію широкого використання цифрових і обчислювальних засобів підтверджує аналіз структури та характеристик прийнятих до експлуатації сучасних засобів водного транспорту [90], [115].

Для забезпечення потрібного рівня достовірності та оперативності контролю технічного стану засобів водного транспорту наступного покоління актуальною є розробка методологічних основ побудови сучасних зразків КДА більш високого технологічного рівня порівняно з існуючими на сьогодні [44], [137].

Постійно зростаючі складність, вартість і технологічний рівень засобів водного транспорту вимагають підвищення ефективності контролю. Кожен контроль параметрів блоків (елементів) засобів водного транспорту пов'язаний з комутацією та вимірюванням – на вхід елементу або блоку засобів водного транспорту подаються стимулюючі сигнали та вимірюються вихідні сигнали на виході відповідного елементу або блоку [43], [47], [52], [53]. Проведення навіть одного етапу контрольно-випробувальних робіт засобів водного транспорту при експлуатації вимагає неодноразових вимірювань [13], [33], [40], [80]. Кількість найменувань параметрів, що підлягають вимірюванню та контролю, може досягати декількох сотень, тому в результаті кількість вимірювальних операцій може досягати декількох тисяч. Це дає уявлення про обсяг контрольно-випробувальних робіт засобів водного транспорту та необхідні витрати часу на вимірювальний контроль.

1.3 Дослідження сучасних і перспективних систем автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту

На сьогодні, за думкою фахівців, можливості інтенсивного розвитку традиційних систем централізованого контролю параметрів складних технічних систем вичерпалися. Подальше підвищення ефективності та надійності засобів водного транспорту при експлуатації потребує застосування компонентів технічного діагностування для оцінки і прогнозування реального стану складових блоків (елементів) [1], [11], [68].

За результатами досліджень [61], [120], [123], [135] можна сформулювати висновок про покращення стратегії експлуатації та технічного обслуговування засобів водного транспорту за рахунок комплексного підходу до розробки та впровадження відповідної системи контролю та діагностування – зменшення похибок; підвищення інтенсивності контролю, уніфікації апаратури контролю, зменшення часу на контроль тощо.

Аналіз показав, що був розроблений ряд перспективних технічних рішень, які пов'язані з обмеженими можливостями використання вимірювальної апаратури, датчиків, елементної бази, обчислювальної техніки, програмного забезпечення, спеціального стендового обладнання тощо. З відкриттям доступу до світового ринку проблема дефіциту в цій області зникла [116], [156]. Але в умовах великої кількості пропозицій, що розрізняються технічними характеристиками, функціональними можливостями, областями застосування та цінами, з'явилася інша проблема: раціонального вибору компонентів діагностичного забезпечення, актуальна як при їх розробці, так і під час закупівлі відсутніх модулів. З метою формування інструментарію для обґрунтованого вибору компонентів діагностичного забезпечення суднового обладнання був проведений даний аналіз. Було потрібно проаналізувати особливості та функціональні можливості сучасних методик аналізу проектних варіантів і прийняття

рішень, провести апробацію їх ефективності та визначити раціональні області застосування при розробці засобів технічної діагностики. Проведений аналіз [51], [84], [112], [119] дозволив виділити методи, які застосовуються зараз в світовій практиці. Перед розробником систем контролю стоять завдання вибору [57], [77], [86], [124]:

- раціональної стратегії обслуговування обладнання;
- рівня діагностування та структурних параметрів, що характеризують його технічний стан;
- методів діагностування та діагностичних параметрів;
- способів вимірювання діагностичних параметрів;
- алгоритмів виділення діагностичної інформації;
- апаратного забезпечення діагностування;
- методів прогнозування та оцінки залишкового ресурсу.

За даними досліджень [20], [24], [39], [62], [87], [88], а саме, аналізу типових методик вибору проектних варіантів, можна констатувати відсутність універсальної методики, однаково придатної та ефективною при розробці діагностичного забезпечення. Тому були досліджені функціональні можливості різних методик порівняння стосовно специфічних особливостей конкретних діагностичних завдань. Перш за все, був обґрунтований вибір раціональної стратегії обслуговування обладнання. У роботі [85] показані рівні інформаційної підтримки персоналу та вимоги до діагностичного забезпечення, характерні для 4-х стратегій, спрямованих на підтримку працездатності обладнання в процесі експлуатації суден.

Для їх порівняння була використана методика SWOT-аналізу [68], [116] (аббревіатура з початкових букв англійських слів: переваги, недоліки, можливості, загрози). Розроблена в Англії методика була призначалася для порівняльного аналізу стратегій і бізнес-планів підприємств. SWOT-аналіз дозволяє, по-перше, зробити вибір на користь стратегій, що враховують інформацію про фактичне і прогнозованому технічному стані обладнання, і,

по-друге, пояснити, чому ці стратегії до теперішнього часу не впроваджені в практику експлуатації суднової енергетики. Отже, головна проблема пов'язана з реалізацією необхідної та достатньої повноти діагностування.

В роботі [54] показано, що для вирішення цього завдання можуть застосовуватися різні методики. Перш за все, техніко-економічний аналіз, який передбачає зіставлення зниження експлуатаційних витрат, пов'язаних з відмовами, простоем і ремонтами обладнання, і вартості розробки, поставки й експлуатації діагностичного забезпечення. Зрозуміло, що експлуатаційні втрати зі збільшенням глибини діагностування знижуються, а вартість діагностичного забезпечення при цьому збільшується. Аналіз дозволяє зробити висновок про можливість застосування оптимізаційного підходу, якщо як критерій розглядається економічний показник. На думку автора [96] для оцінки впливу можливих відмов обладнання на рівень відповідних втрат доцільно застосування сукупності різних способів оцінки значущості обладнання.

Принципи класифікації суднових технічних засобів, запропоновані в роботах [25], [72], [140], передбачають поділ обладнання та його елементів на функціональні групи, класи і категорії залежно від їх впливу на функціонування судна в цілому та від їх ремонтпридатності. З цієї точки зору пріоритетним слід вважати оснащення засобами діагностування обладнання, що має важливе значення для функціонування судна та мало придатне для ремонту в суднових умовах. Не менш важливо й застосування статистичного аналізу досвіду експлуатації обладнання, оскільки саме практика є кінцевим критерієм істинності наукових гіпотез. Ключовими моментами у відповідних методиках є способи визначення закону розподілу даних про фактичну надійності обладнання, наприклад, про напрацювання на відмову [74].

Автором було удосконалено програмне забезпечення, основними відмінностями якого є угруповання вибірки за критерієм Стерджеса,

інтерактивний режим спілкування з комп'ютером і наочне представлення результатів.

Але ніяка, навіть найдосконаліша методика не забезпечить отримання достовірних оцінок при відсутності представницьких вихідних вибірок. В умовах масового виробництва виробів, що мають порівняно невеликі терміни служби, формування таких вибірок в прийнятні терміни є завданням тривіальної. Але це не відноситься до суднового обладнання в умовах дрібносерійної, а часто й одиничного будування суден. В цьому сенсі менш вразливими є методи ранжирування елементів обладнання шляхом оцінки впливу їх надійності на працездатність, наприклад, енергетичної системи більш високого рівня.

Відоме, що ефективним інструментом вирішення таких завдань є загальний логіко-імовірнісний метод [67], [76], [94], [115].

Також на думку фахівців безсумнівний інтерес представляє можливість отримання результатів у вигляді діаграм, на яких наведено вплив окремих чинників на надійність системи (позитивних або негативних). Такі діаграми можуть бути використані для порівняльної оцінки ефективності діагностичних завдань.

Слабким місцем такого підходу є те, що малоімовірні події автоматично відносяться до малозначущих подій, незалежно від величини можливого збитку, який вони можуть викликати. Тим часом статистика морських аварій (і не тільки морських) показує, що малоімовірні, і, отже, неочікувані негативні події теж трапляються, причому, чим менше їх очікують, тим катастрофічнішою їх наслідки [15], [70], [106].

Ці обставини можна врахувати, якщо для оцінки значущості обладнання використовувати таку категорію, як ризик, який у відповідних стандартах визначається як «поєднання ймовірності події та її наслідків». Допускається як бальна оцінка ризику, що отримується шляхом проставлення дискретних значень індексів частоти відмов і ступеня тяжкості,

так і пряма кількісна оцінка ризику у вигляді множення ймовірності небажаного події на вартість збитку.

Відомо [92], [109], [155], що «...дієвим інструментом оцінки можливих наслідків спотворення характеристик або повних відмов елементів стохастичних систем є імітаційне моделювання режимів їх експлуатації, наприклад, математична модель автоматизованої системи управління». Стохастичними елементами системи є споживачі, які випадковим чином змінюють у часі свої запити у відповідність з рівномірним і нормальним законами розподілу. Модель дозволяє налаштовувати характеристики насосів, датчиків рівня та споживачів і дослідити поведінку системи, як при різних режимах нормальної експлуатації, так і при повному або частковому порушенні працездатності окремих елементів. Підсумкова статистика дозволяє оцінити як прямі збитки, викликані відмовами, так і їх вплив на коефіцієнти використання (а, отже, і на тривалу експлуатацію) системи.

Традиційними є висновки про те, що не слід випускати з уваги і думки кваліфікованих фахівців – експертів, які мають досвід проектування, випробувань і експлуатації суднового обладнання [71], [93], [115]. Для оцінки окремих якостей експертів застосовується цілий ряд більш-менш формалізованих прийомів. Найбільш об'єктивні оцінки виходять при індивідуальному анкетуванні, оскільки на нарадах зазвичай перемагає думка найбільш авторитетного та харизматичного експерта, а метод мозкового штурму не дуже відповідає ментальності наших фахівців. Із способів заповнення анкет найбільшою популярністю користуються рангові оцінки і розстановка вагових коефіцієнтів. Для згладжування флуктуації індивідуальних думок застосовують осереднені анкетні дані та оцінюють ступінь узгодженості суджень експертів за допомогою відповідного коефіцієнта конкордації.

В роботах [76], [97], [155] надано метод, який поєднує як когнітивний підхід, так й один з напрямів м'яких обчислень – fuzzy tech. Побудова

розроблених нечітких моделей оцінки ризиків відмов підсистем і елементів енергетичного обладнання авторами проводилася за допомогою пакета прикладних програм Matlab, графічних засобів і інструментів пакету Matlab – Fuzzy Logic Toolbox [76].

Використовується функція розподілу Гауса як функція належності, що реалізується в Matlab у вигляді `gaussmf` для завдання гладких симетричних функцій належності. На етапі фазифікації задаються вхідні змінні нечітких моделей оцінок ризику відмов у вигляді ймовірностей виходу з ладу та шкоди від наслідків ризикових подій елементів, наприклад, для енергетичного обладнання або радіонавігаційних систем [76].

Підвищення достовірності визначення раціональної глибини діагностування вимагає комплексного застосування розглянутих методик. В роботі [121] надано аналіз запропонованого алгоритму, що включає 2 етапи:

– спочатку виконується перебір специфікації списку обладнання, і та діагностична задача, яка визнається значущою в результаті застосування хоча б однієї з методик, включається до попереднього списку. Потім виконується його мінімізація за таким же принципом: потрапляння завдання під дію будь-якого із зазначених обмежувальних критеріїв призводить до її виключення зі списку. Як приклад застосування цього алгоритму наведені результати формування попереднього списку діагностичних параметрів для морського газотурбінного двигуна. Після його мінімізації виділені найбільш навантажені та відповідальні вузли – підшипники і лопатковий апарат, які в першу чергу лімітують безвідмовність і довговічність двигуна. Вартість розробки, впровадження та експлуатації діагностичних систем визначається, в першу чергу, специфічними особливостями застосованих методів діагностування. Вибір їх номенклатури можна впорядкувати, якщо за допомогою методу структурної декомпозиції виділити три рівня діагностичних завдань. Верхній рівень можна назвати енергетичним, оскільки він передбачає оцінку функціональних якостей обладнання в

процесі перетворення та перенесення енергії. Найбільш актуальним завданням на цьому рівні є забезпечення автоматизованого пошуку причин порушення працездатності суднових енергетичних систем з точністю до функціонально-самостійного елемента (насоса, теплообмінника, фільтра тощо). Вирішення цього завдання може бути забезпечене наступним чином. Це створення аналогової математичної моделі, яка точно описує статику та динаміку об'єкта. В процесі діагностування модель можна використовувати як еталон для ідентифікації можливих несправностей обладнання. SWOT-аналіз дозволяє поряд з незаперечними перевагами цього способу виявити і істотну проблему, а саме великі складнощі.

Діагностування технічного стану на механічному рівні направлена на виявлення експлуатаційних пошкоджень окремих деталей і вузлів [13], [39], [70], [83], [105].

Прикладом є діагностування вузлів тертя судового дизеля шляхом аналізу продуктів зносу, що потрапляють в циркуляційну масляну систему. Разом з накопиченням домішок йде і зворотній процес, обумовлений фільтрацією та чадом масла, його розведенням при часткових доливаннях, відкладенням домішок у картері. Якщо прийняти припущення, що інтенсивність надходження продуктів зносу пропорційна швидкості зношування деталей, що труться, а інтенсивність їх видалення пропорційна їх концентрації в маслі, то неважко переконатися, що взаємодія цих процесів призводить до динамічної рівноваги.

Практичний інтерес представляють матеріали дослідження методики оцінювання та прогнозування технічного стану судна з використанням способів технічного діагностування [144]. Важливим практичним результатом автоматизації цієї методики є розроблене програмне забезпечення, яке дозволяє проводити оцінку надійності елементів конструкцій судового корпусу за нормативними даними, визначати положення небезпечного перетину та критичних зон. Варіанти розрахунку та

дані в числовій формі візуалізовані. Програмна система забезпечує виконання таких функцій: будівельні дані, варіанти вимірів, розрахунок, підсумкова оцінка.

Автоматизована система для оцінки технічного стану корпусу судна за результатами вимірювань залишкової товщини дозволяє проконтролювати міцність зв'язків елементів корпусних конструкцій судна, провести аналіз і оцінку якості їх технічного стану та критичних зон.

1.4 Розробка пропозицій щодо напрямків і завдань подальшої розробки уніфікованої контрольної-діагностичної апаратури

Одним з перспективних напрямів створення парку сучасних засобів вимірювальної техніки є розробка та створення уніфікованої КДА. Застосування КДА, розробленої на основі проектної компоновки, значно підвищує коефіцієнт використання засобів вимірювання та знижує вимоги до номенклатури парку засобів вимірювання [46], [66], [134].

Можливості оперативної компоновки структури уніфікованої КДА обмежені в значній мірі необхідністю створення, відпрацювання та метрологічної атестації їх практично унікального програмного забезпечення, що реалізовує рішення заданої задачі на момент розробки парку функціональних модулів (ФМ) (вимірювальних датчиків). Ефективність застосування уніфікованої КДА прямо залежить від тривалості застосування скомпонованої апаратурної структури. Тривале використання однієї компоновки суперечить самій ідеї створення уніфікованої КДА.

Основна проблема в організації ефективної обробки програмного забезпечення уніфікованої КДА полягає в знаходженні компромісу між простотою способу розробки та забезпеченням адекватності програмного забезпечення алгоритму, що реалізується. Традиційні методи розробки

програмного забезпечення орієнтовані на створення програмних продуктів з тривалим терміном їх подальшої експлуатації. При реалізації цих методів використовуються широко відомі машинно-орієнтовані та процедурно-орієнтовані мови [73], [133]. Створення програмних засобів на їх основі навіть із застосуванням сучасних системних засобів вимагає істотних часових і матеріальних витрат. Використання традиційних методів практично виправдано при реалізації простих алгоритмів вимірювань. Для складних алгоритмів при застосуванні традиційних методів програмування, відпрацювання та метрологічна атестація програмного забезпечення розв'язуються часто не в повному обсязі, що негативно позначається на метрологічних характеристиках проєктованих програмних засобів. Програмне забезпечення, розроблене на основі традиційних методів, дуже важко піддається модернізації, необхідність в якій виникає при кожній зміні апаратної структури КДА або частковій зміні алгоритму вимірювання. Використання при розробці комп'ютерних вимірювальних систем останніх досягнень програмного забезпечення універсальних електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) значно полегшує задачу розробки прикладного програмного забезпечення [46], [65], [114]. Проте, при цьому застосування стандартних програмних засобів при винятковому використанні режимах є велика ймовірність наявності незнайдених помилок програмування, що також знижує надійність програмних засобів, які розробляються. Виходом з положення може стати використання відповідних систем об'єктно-орієнтованого програмування [73], що забезпечило б:

- безпомилковість написання програм без залучення професійних програмістів;
- можливість контролю з сторони органів контролю за правильністю реалізованих алгоритмів;
- захист від несанкціонованого доступу до уніфікованих модулів;

– економічну ефективність розробки, модернізації застосування програмних засобів КДА [114].

Формально апаратурну структуру будь-якої КДА можна представити у вигляді системи, що складається з N окремих ФМ, які реалізують необхідний для вирішення даної вимірювальної задачі набір функцій, і блоком управління (БУ), поєднаних каналом зв'язку (рис. 1.6).

Кожний i -й ФМ може виконувати одночасно тільки одну j -ю функцію φ_j^i з безлічі допустимих для даного модуля функцій $[\varphi_1^i, \varphi_2^i, \dots, \varphi_{M_i}^i]$. Тут M_i – кількість функцій, які реалізуються. Кількість і якісний зміст функцій реалізації визначається особливостями побудови ФМ. При формуванні деякого заданого вимірювального процесу вимагається реалізувати системою деяку послідовність функцій $[U(t_1), U(t_2), \dots, U(t_k)]$. Вигляд і послідовність функцій реалізації визначається особливостями процесу вимірювання параметрів. Для ініціації i -м ФМ j -й функції φ_j^i пристрій управління формує команду K_j^i , вигляд якої визначається значенням реалізованої функції та особливостями управління i -м ФМ. Для організації процесу вимірювання, БУ повинен оформити відповідну послідовність команд $[K(t_1), K(t_2), \dots, K(t_k)]$.

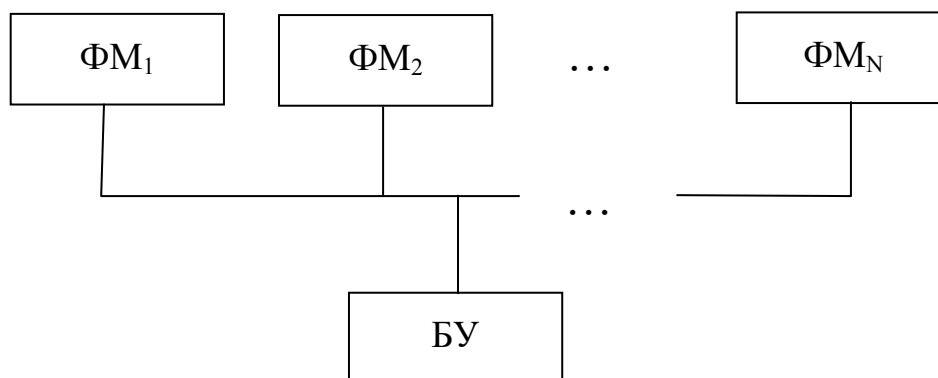


Рисунок 1.6 – Апаратурна структура функціонально-модульної уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури

Ця послідовність команд визначається не тільки вимірювальним алгоритмом, але й особливостями управління ФМ вимірювальної системи. Блок управління реалізується на основі мікропроцесору (ЕОМ). Для видачі необхідної послідовності команд у канал зв'язку з ФМ мікропроцесор виконує відповідну послідовність операторів, вид якої визначається не тільки змістом видаваних у канал зв'язку команд управління ФМ, але й особливостями системи команд мікропроцесорного пристрою управління. Формування значення цієї послідовності операторів, тобто програми управління МП, проводиться при розробці програмного забезпечення КДА. Труднощі проектування програмних засобів КДА традиційними засобами можна пояснити необхідністю для розробника одночасного з реалізацією вимірювального алгоритму враховувати особливості управління ФМ і БУ. Модернізація програмних засобів, розроблених таким чином, сильно ускладнена, і в більшості випадків розробник розробляє програмне забезпечення наново навіть при малих змінах в апаратній структурі КДА.

Проектування програмних засобів КДА можна істотно спростити, якщо розробку проводити послідовно в ряд етапів. Причому на кожному етапі проектування на основі деяких початкових даних розв'язується тільки одна з задач: облік вимірювального алгоритму, облік особливостей управління ФМ або облік особливостей управління за допомогою мікропроцесору. Послідовність рішення задачі проектування показана на рисунку 1.7.

Початковими даними для другого та подальших етапів проектування є кінцевий продукт розробки попереднього етапу. В даний час широко використовується проектування програмних засобів з використанням макрокоманд [64], [65]. В цьому випадку розробник звільняється від необхідності обліку особливостей програмування мікропроцесору. Така система макрокоманд розробляється для кожного мікропроцесору в індивідуальному порядку та не є універсальною.

На першому етапі відбувається кодування вимірювального алгоритму у вигляді, зручному для використання на наступних етапах. Необхідна формалізація вимірювальних алгоритмів, а також універсальні форми запису алгоритмів.

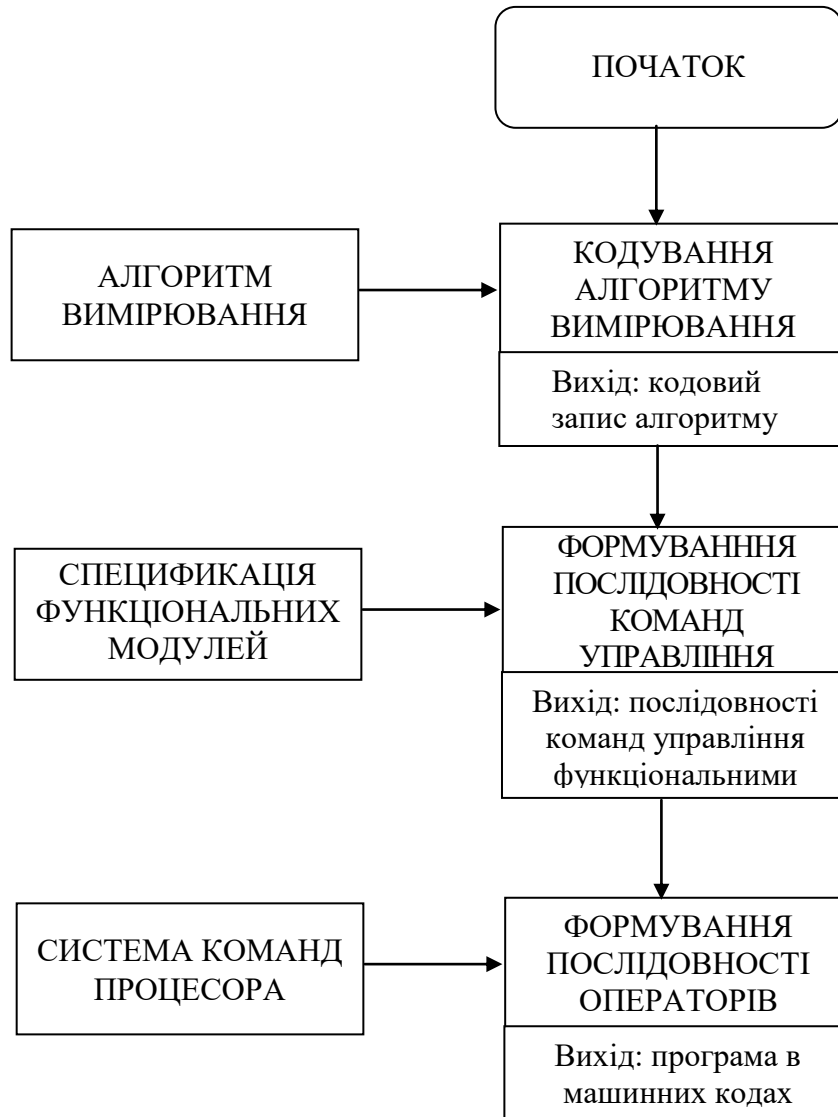


Рисунок 1.7 – Послідовність рішення задачі проектування КДА

Розроблений на цьому етапі алгоритм буде універсальним для будь-якої апаратної структури КДА, у цьому випадку немає необхідності в зміні кодового запису вимірювального алгоритму.

На другому етапі на основі кодового запису вимірювального алгоритму

кожної функції окремо ставиться послідовність команд, яку необхідно передати ФМ для її реалізації. Сформована таким чином послідовність команд визначається змістом кодового запису вимірювального алгоритму та особливостями управління вимірювальними модулями, що входять в дану компоновку КДА. При зміні апаратного складу цю послідовність команд слід сформулювати наново.

На третьому етапі послідовність команд управління ФМ перетвориться в послідовність операторів, виконуваних процесором БУ. Ця операція виконується аналогічно компіляції [64]. Результат етапу представляється у вигляді машинних кодів. Таке перетворення виконується з урахуванням особливостей управління процесом БУ і повинне виконуватися кожного разу при зміні початкової послідовності команд управління ФМ або при зміні апаратної структури БУ.

Порівняння проектування програмних засобів КДА піддається достатній формалізації та може бути автоматизований. В цьому випадку перший етап може виконуватися розробником з використанням спеціальних підказок у формі меню. Розробка програмного забезпечення КДА, його відпрацювання та метрологічна атестація на основі порівнянного проектування дозволяє істотно понизити витрати на проектування програмних засобів КДА і тим самим підвищити ефективність застосування.

1.5 Постановка науково-технічної задачі та обґрунтування методів дослідження

Рішення задачі синтезу КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту з урахуванням аналізу існуючих методів синтезу систем функціонування та оцінки ефективності можна звести до двох напрямів дослідження:

- удосконалення методів і моделей розробки та функціонування уніфікованої КДА для комплексної оцінки технічного стану засобів водного транспорту;

- розвиток практичних основ оцінки ефективності застосування уніфікованої КДА у системі технічного обслуговування засобів водного транспорту.

При цьому передбачається наступна методологія дослідження:

- провести постановку завдання – визначити мету, стратегії та умови застосування уніфікованої КДА для комплексної оцінки технічного стану засобів водного транспорту;

- удосконалити метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту на основі запропонованої автоматизованої КДА;

- удосконалити модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою уніфікованої КДА;

- удосконалити модель функціонування складових КДА для спрощення пошуку варіантів синтезу складових апаратури при врахуванні особливостей експлуатації засобів водного транспорту;

- удосконалити метод оцінки технічного стану складових блоків (елементів) засобів водного транспорту для оцінки ефективності системи технічного обслуговування засобів водного транспорту;

- розробити метод оцінки ефективності застосування запропонованої уніфікованої КДА для контролю технічного стану засобів водного транспорту.

У рамках сформульованої методології дослідження обґрунтуємо часткові наукові завдання дослідження, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети дисертації:

- провести аналіз відомих методів і моделей синтезу засобів контролю для технічного обслуговування складних технічних комплексів, у тому числі засобів водного транспорту;

- обґрунтувати стратегії та умови застосування уніфікованої КДА для комплексної оцінки технічного стану засобів водного транспорту;

- удосконалити метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту;

- удосконалити модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту;

- удосконалити модель функціонування складових КДА при врахуванні особливостей експлуатації засобів водного транспорту;

- удосконалити метод оцінки технічного стану складових блоків (елементів) засобів водного транспорту (на прикладі радіоелектронних елементів) для оцінки ефективності системи технічного обслуговування засобів водного транспорту;

- розробити метод оцінки ефективності застосування запропонованої уніфікованої КДА для контролю технічного стану засобів водного транспорту;

- обґрунтувати показники ефективності застосування уніфікованої КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту;

- провести дослідження розроблених методів і моделей синтезу уніфікованої КДА, перевірити їх на адекватність;

- розробити рекомендації щодо застосування уніфікованої КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту на етапі експлуатації.

Для розв'язання поставлених завдання передбачається використовувати наступні методи дослідження:

- при проведенні аналізу відомих методів і моделей синтезу засобів контролю для технічного обслуговування складних технічних комплексів – методи системного аналізу та економічного аналізу;

– при обґрунтуванні стратегії та умови застосування уніфікованої КДА для комплексної оцінки технічного стану засобів водного транспорту – теорію складних систем, методи системного аналізу та теорію імовірності;

– при удосконаленні методу вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту – теорію інтегрального та диференціального числення, теорію графів;

– при удосконаленні моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту – теорію складних систем і теорію імовірності;

– при удосконаленні моделі функціонування складових КДА при врахуванні особливостей експлуатації засобів водного транспорту – теорію складних систем, теорію імовірності та теорію графів;

– при удосконаленні методу оцінки технічного стану складових блоків (елементів) засобів водного транспорту (на прикладі радіоелектронних елементів) для оцінки ефективності їх системи технічного обслуговування – математичний апарат марківських випадкових процесів, теорію ефективності;

– при розробці методу оцінки ефективності застосування запропонованої уніфікованої КДА для контролю технічного стану засобів водного транспорту – теорію ефективності, методи імітаційного моделювання;

– при обґрунтуванні показників ефективності застосування уніфікованої КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту – теорію ефективності;

– при дослідженні розроблених методів і моделей синтезу уніфікованої КДА, перевірці їх на адекватність – теорію інтегрального та диференціального числення, методи імітаційного моделювання;

– при розробці рекомендації щодо застосування уніфікованої КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту на етапі

експлуатації – теорію складних систем, методи системного аналізу та економічного аналізу.

Таким чином, *методи розв'язання* поставленої в дисертації науково-технічної задачі ґрунтуються на теорії складних систем, теорії ефективності, теорії імовірності, теорії графів, теорії інтегрального та диференціального числення, математичному апараті марківських випадкових процесів, методах імітаційного моделювання.

Висновки по розділу 1

1. Показано, що основною проблемою засобів водного транспорту України є значний моральний і фізичний знос транспортних засобів і портового обладнання. Середній термін експлуатації суден України перевищує (30...40) років. Результати аналізу аварійності на річковому та морському транспорті України свідчать про поступове збільшення їх кількості за рахунок незадовільного технічного стану. Це показує необхідність удосконалення системи контролю та діагностування технічного стану засобів водного транспорту України при проведенні операцій технічного обслуговування.

2. Сформульовано основні завдання, які покладаються на розробників апаратури контролю та діагностування засобів водного транспорту. Ці завдання полягають у виборі: раціональної стратегії обслуговування об'єктів контролю; рівня діагностування та структурних параметрів об'єктів контролю, що характеризують їх технічний стан; методів контролю та діагностування та відповідних параметрів; способів вимірювання параметрів контролю та діагностування; алгоритмів виділення контрольної та діагностичної інформації; апаратного забезпечення контролю та діагностування; методів прогнозування та оцінки залишкового ресурсу

об'єктів контролю.

3. Наведено часткові завдання дослідження, що дозволяють розв'язати науково-технічну задачу, поставлену в роботі, і обґрунтовані методи дослідження для розв'язання часткових завдань.

Основні результати розділу опубліковані [16], [17], [44], [130], [137], [138].

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

У розділі наведено результати загального аналізу науково-технічної задачі автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорт. Сформовано пропозиції до синтезу контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорт. Обґрунтовано загальний критерій оптимізації синтезу підсистем отримання вимірювальної інформації контрольно-діагностичної апаратури. Удосконалено метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорт.

2.1 Загальний аналіз науково-технічної задачі автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорт

Застосування існуючих вимірювальних приладів для контролю технічного стану засобів водного транспорт не дозволяє достатньо швидко та своєчасно виконувати перевірку за існуючою методикою, тому що підключення великої кількості приладів до елементів (блоків) засобів і до джерел живлення потребує багато часу та трудовитрат.

У зв'язку з цим свого часу виникло гостре питання щодо впровадження автоматизації процесів вимірювань, контролю та діагностування складних блоків (елементів) засобів водного транспорт. Рішення цього питання було знайдено шляхом застосування автоматизованих вимірювальних систем та автоматизованих засобів контролю та діагностування, до яких відносяться автоматизовані (вбудовані в апаратуру та зовнішні) системи контролю та діагностування, прилади (пульти, засоби) автоматизованого контролю та діагностування тощо [39], [45].

Найбільш складним видом КДА є автоматизовані вимірювальні системи, до складу яких входить комплекс вимірювальних і допоміжних пристроїв, які призначені для отримання вимірювальної інформації про технічний стан засобів водного транспорту в умовах функціонування (експлуатації) [63].

З цією метою перспективну уніфіковану КДА для контролю технічного стану засобів водного транспорту пропонується створювати таким чином, щоб вона була спроможна [63], [100], [131]:

- перевіряти максимальну кількість інформативних параметрів, які визначають технічний стан засобів;
- здійснювати контроль вказаних параметрів автоматично або напівавтоматично на протязі мінімально можливого часу;
- не впливати негативним чином на роботу засобів, які контролюються (відмови системи контролю не повинні порушувати працездатність засобів при контролі);
- мати високу загально-технічну та метрологічну надійність, мінімальні габаритні розміри і вагу.

У самому загальному вигляді до складу перспективної КДА входять вимірювальні, аналізуючі (обробляючі, обчислювальні), індикаторні та керуючі пристрої (рис. 2.1). За допомогою первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків) параметри різної фізичної суттєвості (температура, тиск, переміщення, частота тощо) перетворюються до уніфікованого електричного сигналу, зручного для подальшої обробки.

Наприклад, контроль технічного стану радіолокаційного обладнання засобів водного транспорту виконується за допомогою стимулюючих сигналів, що виробляються у спеціальних генераторах, які фактично є мірами вимірювальної інформації [145].

Перевірка параметрів засобів водного транспорту здебільшого виконується послідовно, тому підключення вимірювальних каналів до

пристрою аналізу сигналів здійснює комутатор, який працює згідно з командами БУ.

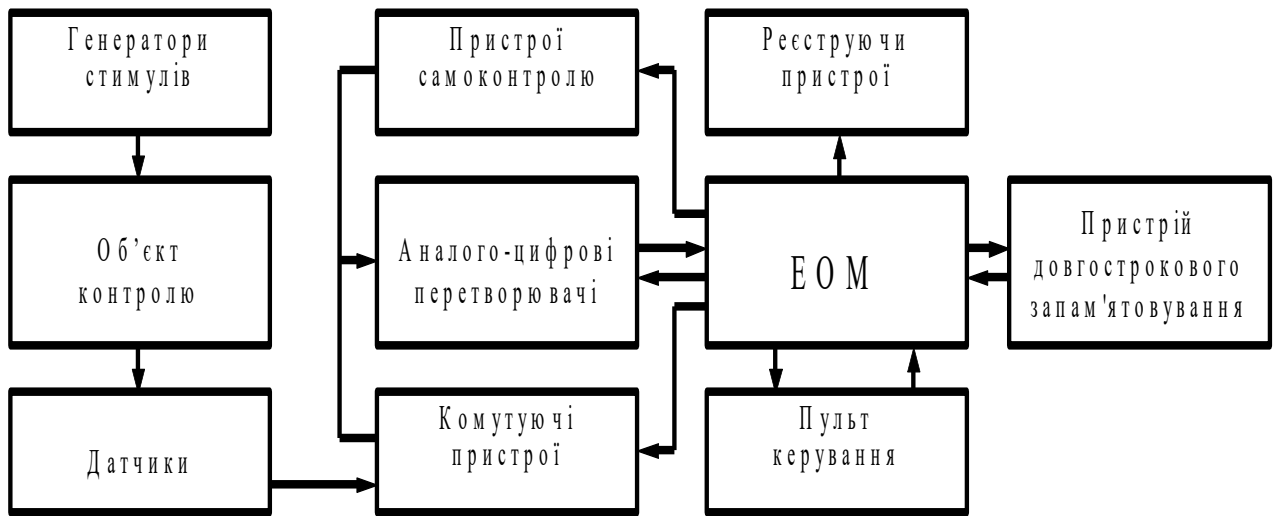


Рисунок 2.1 – Узагальнена спрощена структурна схема автоматизованої КДА

У процесі оцінки параметрів контролю у вигляді області допуску аналізатор (пристрій аналізу) здійснює порівняння значень параметрів, які вимірюються, з допустимими їх значеннями. Допустимі значення параметрів виробляються у спеціальному пристрої, так званому «датчику допусків», та за сигналами пристрою управління подаються в аналізатор. Комутатор виконує також підключення генератора стимулюючих сигналів до пасивних пристроїв у відповідності з заданою програмою контролю [63].

Для підвищення надійності розглянутої автоматизованої КДА та достовірності оцінки технічного стану засобів водного транспорту, що контролюються, необхідно застосовувати блок самоконтролю, який призначений для визначення правильності функціонування системи контролю перед застосуванням [63], [100].

Отже, перспективні прилади автоматизованого контролю та діагностування призначені для перевірки працездатності, пошуку місць

відмови та виконання робіт з технічного обслуговування засобів водного транспорту або складових частин складних комплексів.

Перевагами такої КДА порівнянню з існуючими засобами є [63]:

- малий час (незначна тривалість) контролю технічного стану засобів водного транспорту;
- висока методична достовірність контролю завдяки вимірюванню великої кількості параметрів засобів водного транспорту;
- автоматизація процесів діагностування та прогнозування технічного стану засобів водного транспорту.

Серед недоліків такої КДА виділяємо наступне:

- необхідність доопрацювання (модернізації) раніш створених засобів водного транспорту для їх з'єднання з новими засобами автоматизованого контролю;
- непридатність до контролю додаткових параметрів, які не передбачені програмою, необхідність у вимірюванні котрих може знадобитися, наприклад, для встановлення причин виникнення відмов, пошуку місць несправностей тощо.

Крім того, слід відмітити, що існуючі системи автоматизованого контролю призначені, як правило, для перевірки лише одного типу засобу водного транспорту або деякого вузького класу цих засобів. У перспективній уніфікованій КДА цей недолік відсутній.

Отже, подальші дослідження будуть направлені на розробку методів синтезу КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту залежно від умов їх застосування за призначенням (залежно від їх термінів експлуатації).

2.2 Пропозиції до синтезу контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту

Розглянуті у відомій літературі показники синтезу вимірювальних систем зручні для аналізу та синтезу окремих пристроїв КДА. Синтез КДА в цілому полягає у визначенні її технічних характеристик, виборі структури і розрахунку елементів, вузлів, блоків, пристроїв. Синтез можливий, якщо виявлені основні технічні характеристики КДА, послідовність і методика їх визначення, а також необхідні вихідні дані.

Складність КДА обумовлює численність показників, що відображають різні їх властивості. Основними характеристиками ефективності засобів контролю є: достовірність, точність, продуктивність контролю, ресурс (загальний час роботи), вартість і обсяг контролю, кількість і характер сигналів зондування та їх відгуків, зміст і форма представлення результатів контролю, режим роботи системи контролю, можливість автоматичного регулювання параметрів, джерела живлення, маса і габаритні розміри, мобільність, кваліфікація персоналу.

До основних показників якості функціонування перспективної уніфікованої КДА пропонується віднести: достовірність і оперативність контролю, річну вартість обслуговування об'єктів контролю, технічний ресурс, коефіцієнт використання щодо різних типів засобів водного транспорту (уніфікацію).

Ефективність контролю є мірою доцільності застосування контролю, тобто мірою цінності інформації, що добувається при контролі. Ефективність залежить від продуктивності, ресурсу КДА, а також від вартості витрат на створення апаратури та проведення подальших контролів технічного стану засобів водного транспорту при експлуатації.

Достовірність контролю характеризує ступінь довіри до результатів контролю. За показник достовірності контролю використовується

ймовірність прийняття вірного рішення за результатами контролю. Будь-яка система контролю працює з помилками, крім того, контролю піддається тільки частина параметрів засобів водного транспорту. Інформація, що отримана у результаті контролю, містить невизначеність. Достовірність контролю залежить від точності вимірювання параметрів і обсягу параметрів контролю [56], [99].

Точність контролю є характеристикою роботи вимірювальних трактів апаратури контролю. Зазвичай точність характеризується середньоквадратичною похибкою вимірювання [99].

Система контролю вважається абсолютно точною, якщо похибки вимірювання дорівнюють нулю. При наявності похибок вимірювання та оптимальному способі обробки вимірювальних сигналів система контролю буде володіти потенційною точністю. Потенційна точність – це гранично досяжна точність. Подальше підвищення точності вимірювання неможливо через наявність випадкових перешкод, похибок вимірювання та кінцевого часу вимірювання. Реальна точність контролю буде завжди трохи нижче, ніж потенційна точність, внаслідок похибок реалізації схем оптимальних вимірювачів. В ряді випадків реалізація реальної точності має економічну недоцільність [46], [134].

Під продуктивністю контролю слід розуміти час, який витрачається при контролі технічного стану одного засобу водного транспорту. До такого часу належить час, який витрачається при підготовці КДА (підключення, налаштування), і час контролю.

Вартість контролю містить дві складових: одна визначає вартість розробки та виробництва КДА, а друга – вартість всіх витрат на проведення контролю протягом всього часу роботи (експлуатації) КДА.

Обсяг контролю є дуже важливою технічною характеристикою КДА, багато в чому такою, що визначає основні параметри такої апаратури. Обсяг контролю – це кількість і перелік параметрів, що підлягають контролю. При

визначенні обсягу слід виходити з умови отримання необхідної достовірності контролю та певної глибини діагностики засобів водного транспорту. Кількість і характер сигналів зондування та їх відгуків визначається обсягом контролю та конструкцією засобів водного транспорту.

Результати контролю повинні містити рішення про придатність або непридатність засобів водного транспорту виконувати свої функції, кількісні значення показників якості та параметрів контролю. Режим роботи уніфікованої КДА повинен бути напівавтоматичним або автоматичним. У програмі контролю можуть бути передбачені повторне вимірювання ряду параметрів, самоконтроль і інші режими.

Автоматизована КДА може мати не тільки функції датчика інформації, але й програмовані функції. Наприклад, можливе регулювання окремих показників засобів водного транспорту, підключення резервних елементів або блоків тощо.

Джерела живлення, маса, габарити, транспортабельність, кількість і кваліфікація обслуговуючого персоналу є експлуатаційними характеристиками КДА. Вибір цих характеристик залежить від схеми організації служби експлуатації взагалі та служби контролю зокрема, від конструкції та цільового призначення засобів водного транспорту.

До основних технічних характеристик КДА слід віднести [28], [100]:

- номенклатуру та вигляд контрольованих характеристик;
- похибки вимірювання параметрів (точність апаратури);
- спосіб оцінки проміжних результатів контролю параметрів;
- швидкодію.

Побудову КДА пропонується проводитися за трьома напрямками:

- побудову апаратури для вже існуючих засобів водного транспорту;
- побудову апаратури для засобу водного транспорту на етапі структурного синтезу останнього;

– побудову апаратури за заданими тактико-технічними вимогами до перспективних засобів водного транспорту.

У першому напрямку задаються програма управління, параметри, що підлягають контролю, і допуски на них. Завдання побудови КДА зводиться до технічного проектування. У другому напрямку задаються структура та параметри засобів водного транспорту. Потрібно вибрати програму управління, параметри, що підлягають контролю, способи їх оцінки, точки контролю тощо. У цьому випадку є більше можливостей побудувати якісну та ефективну КДА.

У третьому напрямку задаються (формується) тактико-технічні вимоги на засоби водного транспорту разом з КДА для їх контролю. За цими вимогами треба виробити раціональні вимоги до засобів водного транспорту з системою управління їх технічної експлуатації та до КДА. Випадковий характер параметрів засобів водного транспорту, початкових умов експлуатації та призначення, що діють під час їх функціонування, обумовлюють випадковість виникнення можливих несправностей.

Забезпечення заданої ефективності експлуатації засобів водного транспорту залежить від величини розкиду параметрів, початкових умов, збурень і від структури і параметрів управління системою експлуатації. При прийнятій системі експлуатації в принципі можна створити систему управління, яка забезпечує задану точність при значних розбіжностях параметрів, але така система буде дуже складної (при нескладній КДА). На противагу цьому можна створити порівняно просту систему управління, але при цьому має бути забезпечено дуже малу розбіжність параметрів, початкових умов і збурень.

Розбіжності параметрів і початкових умов експлуатації засобів водного транспорту збільшується з часом. Розбіжності збурень у більшості випадків від спостерігача не залежить, а той час як розбіжності параметрів і початкових умов можна призначити на підставі результатів контролю. В

цьому випадку при простій системі управління може вийти порівняно складна, дорога КДА. Тому найвигіднішим буде компромісне рішення, що забезпечує задані тактико-технічні вимоги при низькій вартості та малому часу контролю.

Таке компромісне рішення можливо. Аналіз залежностей вартості засобу водного транспорту від його ефективності, що оцінюється ефективністю їх експлуатації $C_{\sigma} = f(P)$, та вартості КДА від ефективності засобу водного транспорту в даний момент $C_{\text{КДА}} = g(P)$ показує, що відповідні залежності відображають монотонно зростаючі та монотонно спадаючі функції $C = f(P)$. Так для перших залежностей виконується умова $f(P_2) \geq f(P_1)$ при будь-яких $P_2 \geq P_1$ і для других залежностей – умова $f(P_2) \leq f(P_1)$ при будь-яких $P_2 \geq P_1$, або, для перших залежностей $f'(P) \geq 0$ і для других залежностей $f'(P) \leq 0$.

Як функції $C_{\sigma} = f(P)$, та і функції $C_{\text{КВС}} = g(P)$ визначені та неперервні у замкнутому проміжку: перші в проміжку $[0, P - \varepsilon]$ другі – в проміжку $[0 + \varepsilon, P]$, де ε – завчасно задана позитивна величина. У замкнутому проміжку $[0 + \varepsilon, P - \varepsilon]$ будуть визначені безперервні функції $C_{\sigma} + C_{\text{КДА}}$. Так як, функції $C_{\sigma} + C_{\text{КДА}}$ визначені і безперервні в замкнутому проміжку $[0 + \varepsilon, P - \varepsilon]$, то вони досягають в цьому проміжку своїх точних верхньої і нижньої границі.

Але рішення такого завдання пов'язане з необхідністю отримання залежностей $C_{\sigma} = f(P)$ та $C_{\text{КДА}} = g(P)$. Отримання зазначених залежностей є дуже важким завданням. Крім того, отримання залежностей $C_{\text{КДА}} = g(P)$ пов'язане з розробкою методів визначення технічних характеристик КДА, що відповідають заданим вимогам, і економічної оцінки цих характеристик.

КДА досить повно характеризується технічними характеристиками, зазначеними раніше. Кількісна оцінка всіх характеристик неможлива, тим

більше, що їх кількість практично не обмежена. Тому вказати набір характеристик, що повністю визначають КДА, не вдається. Реальною є наближена оптимізація, в результаті якої можуть бути визначені якщо не оптимальні, то, принаймні, раціональні параметри КДА. З огляду на дискретний характер ряду рішень, прийнятих при синтезі КДА, і разом з тим неможливість кількісної оцінки деяких характеристик, як метод наближеної оптимізації можна рекомендувати метод послідовної оптимізації характеристик в процесі синтезу одного або декількох варіантів системи. Такий метод дасть можливість визначати послідовність проектування конкретних систем.

Послідовність визначення основних технічних характеристик КДА може бути представлена у вигляді схеми, що зображена на рисунку 2.2.

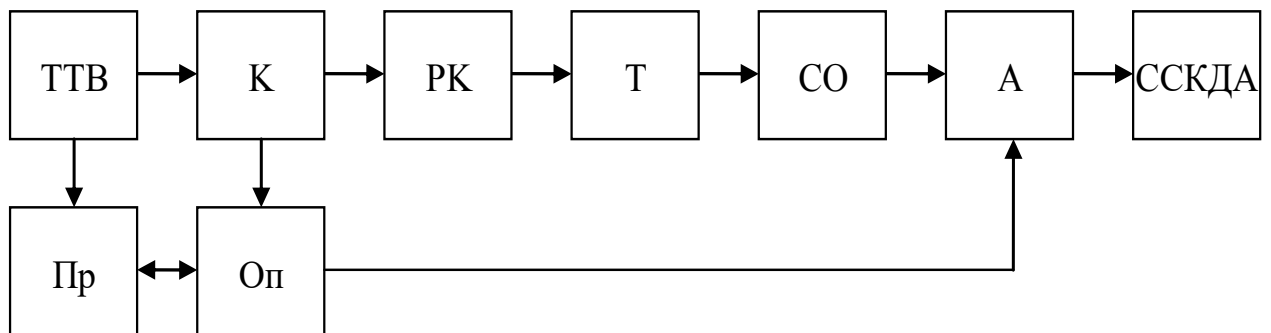


Рисунок 2.2 – Послідовність синтезу контрольно-діагностичної апаратури:
 ТТВ – тактико-технічні вимоги до КДА; К – контрольні характеристики; РК – режим контролю; Т – точність; СО – спосіб обробки; А – алгоритм контролю; ССКДА – структурна схема КДА; Пр – програма обробки; Оп – оператор.

За заданими тактико-технічними вимогами до засобів водного транспорту треба розробити вимоги до КДА, що визначають принципи побудови системи. У більшості випадків не вигідно активні елементи засобів водного транспорту тримати весь час в активному (робочому) стану. Тому

при використанні засобів водного транспорту за призначенням треба обов'язково привести всі елементи в робочий стан. Ці операції приведення блоків (елементів) засобів водного транспорту в робочий стан утворюють групу пускових операцій, алгоритм яких (програма) має порівняно жорстку структуру [50], [65].

Операції контролю мають порівняно гнучку програму, тобто їх порядок визначено менш суворо. При побудові КДА треба перш за все встановити мету контролю, тобто заходи з управління технічним станом засобів водного транспорту, зовнішніми умовами і завданнями. Слід врахувати, що мета контролю може бути досягнута тільки при виконанні наступних умов:

- можлива оцінка результатів контролю;
- можливо вжиття заходів на підставі оцінки результатів контролю.

За обраними заходами можна вибрати глибину контролю (системи, блоку, вузла тощо). Залежно від мети і глибини контролю вибираються контрольні характеристики і режими контролю. Кількість обраних для контролю характеристик визначає кількість інформації та точність контролю. Кількість одержуваної при контролі інформації впливає на вибір способу оцінки проміжних результатів контролю.

Для оцінки результатів контролю, крім одержаної інформації, необхідно мати програму її обробки, яка залежить як від прийнятого способу оцінки проміжних результатів і алгоритму контролю, так і від тактико-технічних вимог до КДА. Якщо в роботі системи бере участь оператор, то можна доручити йому обробити частину одержуваної інформації.

Отримана кількість інформації обробляється за програмою обробки, що визначає програму контролю, яка узгоджується з програмою управління. Узгоджена програма контролю і управління утворює програму роботи всієї системи. Програма роботи системи визначає її структурну схему.

2.3 Загальний критерій оптимізації синтезу підсистем отримання вимірювальної інформації контрольно-діагностичної апаратури

Відомі критерії ефективності обробки вимірювальної інформації засновані на оцінці сумарних витрат на обробку та передачу інформації порівняно з витратами при застосуванні циклічної, наприклад, розповсюдженої радіотелеметричної системи [28].

Структура таких критеріїв не дозволяє вибрати алгоритм скорочення надмірності, що забезпечує мінімум сумарних витрат на бортову апаратуру контролю при реалізації КДА та не виявляє залежність апаратурних витрат на обробку та передачу інформації від застосовуваного методу контролю, а отже, не дає можливості вирішити задачу оптимізації побудови підсистеми отримання вимірювальної інформації КДА стосовно:

- вихідних даних на проектувану апаратуру (вимогам до кількості вимірювальних каналів D і точності δ);
- важливості інформації для формування пріоритетних підпотоків; динаміці оброблюваних процесів для вибору f_0 ;
- режиму передачі інформації;
- обмеженням за $P_{\text{пт}}$, у тому числі технічних.

Структура загального критерію оптимізації підсистеми отримання вимірювальної інформації (датчиків) повинна дозволити вирішити цю задачу.

Запропонований критерій дає можливість не тільки вибрати алгоритм скорочення надмірності, що мінімізує сумарні витрати, але й вирішити завдання вибору шляхів реалізації переваг від використання стиснення, головний з яких полягає в поліпшенні якості переданої інформації (збільшення точності, кількості параметрів).

Структура запропонованого загального критерію оптимізації дозволяє при обмеженнях на сумарні витрати $G \leq G_3$ знайти алгоритм обробки вимірювальної інформації, при якому параметри КДА (кількість вимірювань,

точність, вартість тощо) дорівнюють або близькі до необхідних. Підсистема отримання контрольної інформації може бути реалізована як у вигляді звичайної циклічної підсистеми, так і з застосуванням додаткової підсистеми стиснення інформації. При цьому для засобів водного транспорту найбільш характерний режим передачі в темпі надходження інформації.

Розглянемо рівняння витрат для підсистеми отримання контрольної вимірювальної інформації.

Циклічна підсистема, що призначена для обробки і передачі інформації в темпі її надходження, складається, в свою чергу, з підсистем збору інформації та передачі її в канал зв'язку. На вхід підсистеми збору надходять сигнали з D датчиків фізичних процесів.

З частотою f_0^1 сигнали обробляються та передаються в канал зв'язку. Кількість датчиків D і частота f_0^1 визначаються завданнями експерименту.

Сумарні витрати для циклічної КВС можна представити у вигляді:

$$G_{\Sigma}^{\Pi} = G'_{\text{сб}}(D, f_0^1) + G'_{\text{ц}}(D, f_0^1) + G'_{\text{дж}}. \quad (2.1)$$

Вираз (2.1) можна ще записати так:

$$G_{\Sigma}^{\Pi} = (\bar{G}'_{\text{сб}} + \bar{G}'_{\text{ц}}) n_{\text{ц}} D f_0^1 + G'_{\text{дж}}. \quad (2.2)$$

У витрати $G'_{\text{сб}}$ входить маса локальних комутаторів, маса основного комутатора та маса бортової кабельної мережі. У $G'_{\text{ц}}$ входять витрати на передавачі, антенно-фідерні пристрої та кабелі; у $G'_{\text{дж}}$ входять витрати на джерела електроенергії, включаючи блок живлення передавача та відповідні кабелі; $\bar{G}'_{\text{сб}}$, $\bar{G}'_{\text{ц}}$ – питомі витрати на 1 біт/с (без урахування витрат на джерела електроенергії).

Система квазіобратимої обробки вимірювальної інформації відрізняється від циклічної системи наявністю підсистеми обробки за певним алгоритмом A , що призводить до наступного виразу для сумарних витрат:

$$G_{\Sigma_{cm}} = G'_{c6} n_y D f_0^j + G'_{cm}(D, f_0^j, A) + G'_{ц}(D, f_0^j, A) + G'_{ц}. \quad (2.3)$$

Витрати G'_{cm} включають в себе масу обчислювального комплексу, що забезпечує стиснення інформації за алгоритмом A . Маса джерела живлення обчислювального комплексу входить в витрати $G_{дж}$.

Витрати конструктивних ресурсів засобів водного транспорту при використанні КДА із застосуванням обробки вимірювальної інформації можна також визначити з виразу:

$$G_{\Sigma_{cm}} = \overline{G'_{c6}} n_y D f_0^j + \overline{G'_{cm}} n_y D f_0^j + \overline{G'_{ц}} (n_y + n_D) N_{cm} f_0^j + G'_{дж}. \quad (2.4)$$

У формулах (2.3) і (2.4) прийняті наступні позначення:

f_0^j – частота первинної дискретизації в підсистемі збору з використанням методу обробки вимірювальної інформації, що забезпечує помилку δ апроксимації процесів, що вимірюються;

f_0^1 – частота опитування процесів, що вимірюються, в циклічній системі;

n_y – розрядність перетворювача «аналог-цифра»;

n_D – розрядність службової інформації на адресу пристрою процесу обробки вимірювальної інформації;

N_{cm} – середня кількість істотних вибірок за сукупністю обробки процесів за час $\frac{1}{f_0^1}$.

Введемо наступні позначення:

- відношення частот опитування в системі за методом «А» як $\varphi = \frac{f_0^1}{f_0^j}$.
- коефіцієнт обробки вимірювальної інформації за вибірками як k_d .
- наведений коефіцієнт обробки сумарного потоку вимірювальної інформації:

$$\bar{k}^* = \frac{n_y}{(n_y + n_D)} \frac{D_\varphi}{\sum_{d=1}^D \frac{1}{k_d}} = \frac{D}{N_{сж}} \frac{n_y}{n_y + n_D}.$$

Тоді вираз (2.4) можна записати у вигляді:

$$G_{\Sigma cm} = \bar{G}'_{сб} n_y D \frac{f_0^1}{\varphi} + \bar{G}'_{cm} n_y D \frac{f_0^1}{\varphi} + \bar{G}'_{ц} \frac{n_y D f_0^1}{k^*} + G'_н, \quad (2.5)$$

$$\text{де } \bar{G}'_{cm} = \frac{G'_{cm}}{n_y D f_0^j}. \quad (2.6)$$

Витрати G'_{cm} визначаються за характеристиками, яким повинен задовольняти обчислювальний вимірювальний комплекс при його проектуванні, і враховують витрати на арифметичний блок управління, оперативний пристрій пам'яті, буферний пристрій пам'яті. Витрати на джерело живлення введені у G'_{cm} . Тоді для витрат запишемо такий вираз:

$$G'_{cm} = G_{АП} + G_{ОЗП} + G_{БЗП}. \quad (2.7)$$

Витрати G'_{cm} можуть бути також визначені з виразу (2.7), складові якого підраховуються при виборі блоків обробки та пам'яті КДА з каталогів відповідних типових блоків обчислювальних модулів за потрібними характеристикам n_A , S_{rA} , D_A , z . При цьому n_A – розрядність блоку обробки обчислювального комплексу при реалізації алгоритму A ; S_{rA} – зв'язність алгоритму (тобто інформації i -го кроку, які необхідні для наступного $i+1$ -го кроку), віднесена до одного каналу; D_A – кількість каналів, які можуть бути оброблені алгоритмом A за один крок; $z = \frac{D}{D_A}$ – кількість процесів, необхідних для обробки D каналів за один крок первинної дискретизації.

Витрати завжди визначаються з урахуванням дискретної залежності від кількості блоків (елементів) засобів водного транспорту, що вирішують завдання, тобто з урахуванням їх збільшення до величини витрат на найближче більше кількість блоків (елементів). Таке ж положення має місце й для інших доданків $G_{\Sigma cm}$ та $G_{\Sigma ц}$.

Розглянемо постановку задачі для режиму передачі контрольної інформації в темпі її надходження: необхідно отримати інформацію про процеси D з датчиків з помилкою апроксимації, меншою, ніж δ (їй відповідає частота опитування для циклічної підсистеми отримання інформації при відновленні інформації в місці прийому поліномом першого порядку f_0^1).

Є обмеження за допустимими сумарними витратами:

$$G_{\Sigma} \leq G_3. \quad (2.8)$$

Методика рішення задачі наступна. Розглядається циклічна підсистема, яка задовольнить поставленим вимогам за D та δ , визначаються витрати за виразами (2.1) або (2.2). Для випадку, коли $G_{\Sigma_{\Pi}} > G_3^*$ доводиться йти на звуження завдання експерименту або на вимушене погіршення якості отримуваної інформації – зменшення чисел D до D^* і f_0^1 до f_0^{*1} , тобто на погіршення точності КДА з δ до δ^* .

Тоді витрати на циклічну систему:

$$G_3 = G_{\Sigma_{\Pi}} = \overline{G}'_{\text{сб}} n_{\Pi} D^* f_0^{*1} + \overline{G}'_{\Pi} n_{\Pi} D^* f_0^{*1} + \overline{G}'_{\text{дж}}. \quad (2.9)$$

Витрати на систему з використанням методу обробки визначаються підстановкою D^* і f_0^{*j} (або f_0^{*1} , φ^*) у вирази (2.3), (2.4) або (2.5):

$$G_{\Sigma_{\text{см}}} = \overline{G}'_{\text{сб}} n_{\Pi} D^* \frac{f_0^{*1}}{\varphi^*} + \overline{G}'_{\text{см}} n_{\text{у}} D^* \frac{f_0^{*1}}{\varphi^*} + \overline{G}'_{\Pi} n_{\text{у}} \cdot \frac{D^* f_0^{*1}}{k^* \delta^*} + G'_{\text{дж}}. \quad (2.10)$$

Ефективність застосування обробки визначається нерівністю:

$$\Delta G = G_3 - G_{\Sigma_{\text{см}}}(D^*, f_0^{*j}) > 0,$$

де $G_{\Sigma_{\text{см}}}$ отримано з урахуванням формули (2.6).

Після визначення ефективності застосування стиснення для ряду методів необхідно зупинитися на методах, що дозволяють отримати при необхідні D і $f_0^j(\delta)$ та при D^* і $f_0^{*j}(\delta)$:

$$\min \left[G_{\Sigma_{\text{см}}}(D, f_0^j) - G_3 \right]; \quad (2.11)$$

$$\max \left[G_3 - G_{\Sigma_{cm}}(D^*, f_0^{*j}) \right]. \quad (2.12)$$

При цьому величина ΔG_{\max} може бути витрачена як на поліпшення якості інформації, так і на розширення завдань експерименту. Оптимальним буде алгоритм стиснення, що дозволяє при заданих витратах G_3 отримати:

$$\min [D - D_{(A_m)}] \text{ або } \min [\delta_{(A_m)} - \delta], \quad (2.13)$$

де $D_{(A_m)}$ – збільшене відносно D^* до кількості датчиків при застосуванні алгоритму стиснення A_m ;

$\delta_{(A_m)}$ – зменшене порівняно з δ^* значення помилки апроксимації (відповідає $f_{0(A_m)}^j$), збільшеному порівняно з f_0^{*j} при застосуванні алгоритму стиснення A_m .

Запропоновані критерії (2.11) – (2.13) будуть використанні при оптимізації вимірювальних датчиків отримання вимірювальної інформації про параметри засобів водного транспорту при синтезі контрольно-діагностичних засобів і апаратури.

2.4 Метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту

Основною проблемою засобів водного транспорту є експлуатація в жорстких умовах, пов'язаних з агресивним навколишнім середовищем (вітру, підвищеною вологістю, солоною водою тощо) і у різних кліматичних умовах (особливо для морського транспорту) [144]. Таким чином, для забезпечення безаварійної експлуатації засобів водного транспорту необхідна відповідна

система контролю їх технічного стану, яка задовольняє певним показникам ефективності, і система обслуговування, що дозволяє підтримувати необхідний технічний стан [102].

Підтримання високого рівня справності засобів водного транспорту можливо шляхом підвищення ефективності системи їх технічного обслуговування, яка включає в себе контроль технічного стану за допомогою контрольно-діагностичної апаратури та проведення операцій (залежно від результатів контролю) з підтримання технічної справності, тобто підвищення коефіцієнта готовності засобів водного транспорту [104].

Аналіз моделей технічного обслуговування складних виробів, оцінки впливу характеристик вимірювальних комплексів на процеси вимірювань і вимірювального контролю параметрів зразків дозволяють вибрати критерій кращої або раціональної (оптимальної) організації системи технічного обслуговування засобів водного транспорту з урахуванням умов їх експлуатації. Це має велике значення, особливо для експлуатації складних зразків. Можна показати, що неефективна організація системи технічного обслуговування технічних систем може звести нанівець результати якісної перевірки і ремонту, виконані окремо [38], [39].

Дійсно, технічне обслуговування засобів водного транспорту, як операція з підтримки їх технічних характеристик на потрібному рівні, перш за все, повинно забезпечити таку вихідну дефектність q_{20} , щоб при роботі в наступний міжконтрольний інтервал T_{Π} дефектність блоків і елементів засобів водного транспорту не піднімалася вище величини q_{10} (дефектності потоку блоків і елементів засобів водного транспорту після проведення технічного обслуговування). При цьому величина q_{10} визначається відповідно до виразів, які представлені, наприклад, в [35], тобто обмежена виходом параметрів контролю за номінальними значеннями в міжконтрольний інтервал. Іншими словами, система технічного обслуговування засобів водного транспорту повинна забезпечувати зменшення дефектності блоків і

елементів засобів водного транспорту на відносну величину $E_q = (q_{10} - q_{20}) = q_{12}$, яка не менш відносного зростання дефектності блоків і елементів засобів водного транспорту за міжконтрольний інтервал, але протилежний при цьому зростанні за знаком.

При цьому вихідна дефектність q_{20} за сукупністю блоків і елементів є головною характеристикою парку засобів водного транспорту, а відношення q_{10}/q_{20} або величина E_q – головною характеристикою якості технічного обслуговування.

Нехай величина E_q є коефіцієнтом точності роботи КДА. Тоді запишемо вказаний показник у вигляді:

$$E_q = (\bar{q}_{10} - \bar{q}_{20}) \cdot \bar{q}_{10}^{-1} = 1 - \frac{\bar{\beta}_n (1 + \bar{\beta}_p - \bar{\beta}_n \bar{\beta}_p)}{[(1 - \bar{\alpha}_n)(1 - \bar{\beta}_p) + \bar{\beta}_p \bar{\beta}_n] (1 - \bar{\beta}_n) \bar{q}_{10} + (1 - \bar{\alpha}_n^2)(1 - \bar{q}_{10}) + \bar{\beta}_n \bar{q}_{10}}, \quad (2.14)$$

де $\bar{\alpha}_n, \bar{\beta}_n, \bar{\beta}_p, \bar{q}_{10}$ – серединні для однорідних сукупностей характеристики технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Показник E_q характеризує якість роботи контрольно-діагностичної апаратури певного типу, наприклад, аналізатора спектра (E_{0q}), при обслуговуванні визначеного типу засобів водного транспорту, наприклад, морських танкерів.

Середній час перебування засобів водного транспорту на обслуговуванні $T_{об}$ зазвичай обмежується певною умовою, яка визначається можливістю обмінного фонду та тривалістю технічного обслуговування або зберігання засобів водного транспорту.

Обсяг і типаж обмінного фонду запасних частин (блоків, елементів) засобів водного транспорту впливає на іншу характеристику технічного

обслуговування – коефіцієнт заміни k_3 . Часто величина обмінного фонду становить 0,1 і менше, тому $k_3 \geq 0,9$ [34]. Це означає, що коефіцієнт готовності $k_{Г0}$ контрольно-діагностичних приладів (апаратури) досягає значення, близького до одиниці. Цей коефіцієнт готовності пов'язаний з характеристиками технічного обслуговування засобів водного транспорту, особливо з $\alpha_n, \tau_k, \tau_p, T_{об}$, де τ_k, τ_p – тривалості проведення контролю та ремонту засобів.

Крім того, ці характеристики пов'язані з вартістю C_0 технічного обслуговування засобів водного транспорту. Чим краще характеристики КДА, тим вище вартість технічного обслуговування C_0 .

Задачу оптимізації технічного обслуговування засобів водного транспорту представимо так:

$$\begin{cases} C_0(\pi) \rightarrow \min; \\ E_q(\pi) \geq E_{qp}; \\ k_3 \geq k_{3п}; \\ T_{об}(\pi) \leq T_{обп}; \\ K_r(\pi) \geq K_{rc}, \end{cases} \quad (2.15)$$

де $E_{qp}, k_{3п}, T_{прп}, K_{rc}$ – значення характеристик контрольної та діагностичної апаратури, які потрібні [102].

На основі умов або «критеріїв» запропонованого співвідношення (2.15) можна вирішити два види завдань: вибору раціональної організації технічного обслуговування засобів водного транспорту та визначення оптимальних значень характеристик контрольно-діагностичної апаратури.

Задача вибору раціональної системи технічного обслуговування засобів водного транспорту може бути вирішена вибором кращого варіанту шляхом

перебору та порівняння різних варіантів організації та видів обслуговування за показником (2.14) і критерієм (2.15).

Відомі наступні види технічного обслуговування засобів водного транспорту: реальна перевірка технічного стану (Пр); ідеальна перевірка технічного стану (Пі); реальне регулювання або ремонт блоків (елементів) без перевірки (Рр); реальне технічне обслуговування (з урахуванням реальної перевірки і ремонту, ПрРр); напівідеальне технічне обслуговування – 1 (ідеальна перевірка разом з реальним ремонтом, ПіРр); напівідеальне технічне обслуговування – 2 (реальна перевірка з ідеальним ремонтом, ПрРі); ідеальне технічне обслуговування (ідеальна перевірка та регулювання, ПіРі).

На рисунку 2.3 представлена схема залучення КДА при технічному обслуговуванні засобів водного транспорту.

Відповідно до структури і поєднання видів обслуговування пропонуються три типи організації технічного обслуговування засобів водного транспорту:

– підрозділи технічного забезпечення (при наявності КДА) виконують тільки контроль засобів певних типів. Справні за результатами контролю засоби допускаються до експлуатації. Несправні засоби відправляються до ремонтних органів для ремонту (РП) або для проведення регулювальних робіт (ПО). Це організації I типу (рис. 2.3);

– стаціонарні контрольні та ремонтні органи (при наявності КДА, у тому числі автоматизованої) виконують контроль і ремонт засобів одного типу. Регулювання проводиться під час контролю, несправні засоби направляють до ремонтних органів для ремонту. Це організація II типу;

– стаціонарні контрольні та ремонтні органи виконують контроль і ремонт засобів водного транспорту, які належать до різної номенклатури. Регулювання проводиться під час контролю, несправні засоби відправляються в ремонтні органи для ремонту. Це організація III типу.

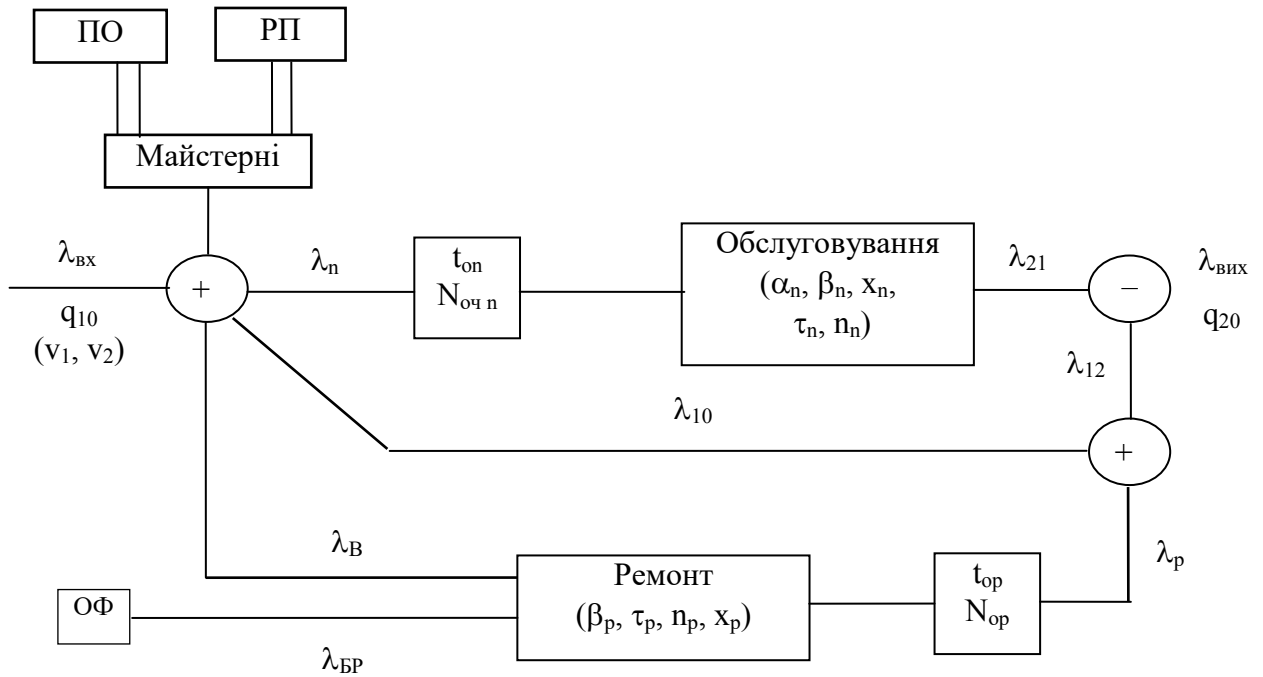


Рисунок 2.3 – Потоки КДА при технічному обслуговуванні засобів водного транспорту

Крім цього, для кожного типу організації технічного обслуговування необхідна наявність обмінного фонду (ОФ) для заміни несправних засобів водного транспорту.

Задачу вибору раціональної системи організації технічного обслуговування засобів водного транспорту пропонується вирішувати шляхом перебору варіантів наступним чином.

За результатами технічного обслуговування кожного типу засобів водного транспорту на основі статистичних даних визначаються основні характеристики, узагальнені для виду: коефіцієнт точності роботи контрольно-діагностичної апаратури E_q ; середній час перебування засобів на обслуговуванні $T_{об}$; коефіцієнт заміни несправних блоків і елементів засобів водного транспорту k_3 ; вартість обслуговування C_0 ; коефіцієнт готовності K_r (за потреби). Далі такі ж показники розраховуються за кожним типом

організацій, за якими закріплені відповідні засоби, як певні комбінації отриманих раніше характеристик обслуговування за видами.

Відзначимо, що досягнення на практиці високих показників функціонування системи технічного обслуговування засобів водного транспорту, особливо часу перебування на обслуговуванні, а також злагодженої роботи ділянок контролю технічного стану та необхідних регульовальних або ремонтних робіт, досить складно. Ще складнішою є система, яка здійснює автоматизований контроль технічного стану засобів водного транспорту. Така система технічного обслуговування включає в себе безпосередньо контрольний орган (підрозділ), робочі місця обслуговуючого персоналу, типи засобів водного транспорту, типи контрольно-діагностичної апаратури, інтерфейс тощо. Ця система технічного обслуговування засобів водного транспорту більш оптимальна за системою «ціна – вартість» не дивлячись на її складність, так як характерна для зразків з безперервним режимом експлуатації.

Таким чином, система технічного обслуговування засобів водного транспорту є складним і дорогим механізмом. Однак, така система необхідна, особливо для засобів з високими показниками експлуатації, так як дозволяє підтримувати їх характеристики і КДА на необхідному (заданому) рівні надійності. Однак систему технічного обслуговування засобів водного транспорту слід проектувати таким чином, щоб була можливість проводити оцінку її ефективності на моделях. При цьому необхідно оцінити такі характеристики:

- коефіцієнт точності роботи КДА E_{0q} , який зв'язаний з імовірністю помилок контролю першого та другого роду апаратури;
- час перебування засобів водного транспорту на обслуговуванні;
- коефіцієнт заміни (уніфікованості) КДА.

При такому проектуванні системи технічного обслуговування доцільно здійснювати за критерієм мінімуму вартості цього обслуговування, вираз (2.15), а її організацію для засобів водного транспорту вибирати за типом III.

Такий тип передбачає залучення підрозділів з обслуговування із застосуванням стандартизованої (уніфікованої) КДА для декількох видів засобів водного транспорту. Такий тип обслуговування є найбільш ефективним. При цьому організаційним шляхом досягаються високі технічні характеристики технічного обслуговування парку засобів водного транспорту та раціональне використання КДА. Такий тип технічного обслуговування більше підходить при експлуатації засобів водного транспорту. Ще однією перевагою суміщення перевірки, регулювання та ремонту засобів водного транспорту в одному стаціонарному органі за рахунок використання універсальної КДА є збільшення оперативності проведення обслуговування та зменшення витрат на обслуговування.

Висновки по розділу 2

1. Обґрунтовано мету розробки перспективної уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту. Таку апаратуру пропонується створювати таким чином, щоб вона була спроможна: перевіряти максимальну кількість інформативних параметрів, які визначають технічний стан засобів; здійснювати контроль вказаних параметрів автоматично або напівавтоматично на протязі мінімально можливого часу; не впливати негативним чином на роботу засобів, які контролюються (відмови системи контролю не повинні порушувати працездатність засобів при контролі); мати високу загально-технічну та метрологічну надійність, мінімальні габаритні розміри і вагу.

2. Обґрунтовано, що до основних технічних характеристик контрольно-діагностичної апаратури необхідно віднести: номенклатуру та і вигляд

контрольованих характеристик; похибки вимірювання параметрів (точність апаратури); спосіб оцінки проміжних результатів контролю параметрів; швидкодію.

3. Побудову контрольно-діагностичної апаратури пропонується проводитися за трьома напрямками: побудову апаратури для вже існуючих засобів водного транспорту; побудову апаратури для засобу водного транспорту на етапі структурного синтезу останнього; побудову апаратури за заданими тактико-технічними вимогами до перспективних засобів водного транспорту.

4. Запропоновані критерії синтезу оптимальних характеристик системи технічного обслуговування, які використані при розробці методу вибору раціональної системи технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Основні результати розділу опубліковані [45], [63], [102], [104], [131], [145].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДОВИХ КОНТРОЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНОЇ АПАРАТУРИ ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

У розділі визначено особливості застосування контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту. Запропоновано модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури. Розроблено математичну модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту

3.1 Особливості застосування контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту

Існуюча апаратура контролю не повністю враховує особливості процесу технічного обслуговування та ремонту об'єктів судового обладнання засобів водного транспорту.

Засоби водного транспорту включають складні технічні системи, що складаються зі значної кількості модулів, вузлів, агрегатів (блоків) та окремих елементів, які є джерелами відмов з різними закономірностями зміни їх інтенсивності, можливостями з їх виявлення та усунення протягом експлуатації. У зв'язку з цим для адекватного опису процесу технічної експлуатації судна як складної технічної системи доцільне представлення його як виробу, що складається з множини комплектуючих модулів [29], [32].

Ще однією особливістю, яку необхідно враховувати при дослідженні ефективності системи контролю технічного стану засобів водного транспорту

є те, що в реальній експлуатації відновлення працездатності складових блоків (елементів) судна проводиться за фактом виявлення відмови об'єкта контролю, незважаючи на його працездатність в цей момент. Наприклад, виявлена відмова резервного елемента працездатного об'єкту судових комплексів призводить до його заміни на повністю справний з подальшим відновленням всього працездатного засобу [103], [144].

Отже, актуальним є розв'язання важливої науково-технічної задачі – розробки методів і моделей синтезу КДА для технічного обслуговування засобів водного транспорту оцінки. Це дозволить при обмеженнях на матеріальні ресурси своєчасно та якісно проводити контроль технічного стану складових блоків (елементів) засобів водного транспорту.

Розглянемо результати аналізу особливостей побудови КДА [32], [68].

Існують два основних способи побудови КДА [125]:

– спосіб, який заснований на агрегуванні у єдину систему ЕОМ та апаратних засобів (модулів), що спеціально створені для цієї системи, які об'єднуються стандартними інтерфейсами;

– спосіб, який передбачає агрегування у єдину систему ЕОМ та автономних засобів вимірювальної техніки на підставі стандартизації вимог до сумісності та застосування стандартних інтерфейсів.

За першим способом КДА будуються як єдина система функціональних блоків, які відповідають усім видам сумісності – конструктивної, інформаційної, електричної, тощо. Така класична КДА складається з функціональних модулів, які об'єднуються у функціональний блок більш високого рівня – так званий «крейт». Декілька крейтів (до 7 шт.) розміщується один над одним в одній стінці. До переваг таких КДА слід віднести високі швидкодію та гнучкість, яка пояснюється його модульною структурою. Недоліками є порівняно висока вартість та складність.

Особливістю другого способу побудови КДА є те, що безпосередній побудові передують стандартизація вимог до інтерфейсу з'єднання їх у єдину

систему. Відповідний інтерфейс отримав назву «приладного інтерфейсу» (або «каналу загального використання»).

На сьогодні актуальним є розвиток КДА на основі КВС. Такі КВС об'єднують вимірювальні, обчислювальні та керуючі засоби за допомогою шини міні- або мікро-ЕОМ. Один з можливих варіантів побудови КВС наведений на рисунку 3.1.

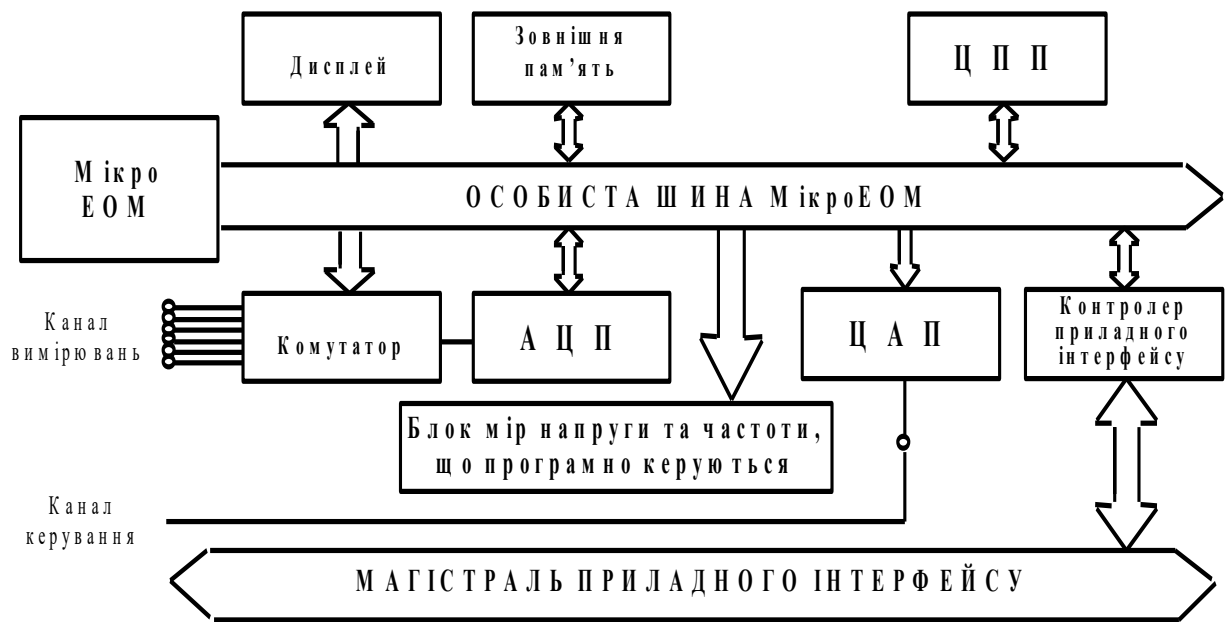


Рисунок 3.1 – Узагальнена структурна схема КДА на основі КВС

Перевагами КДА на основі КВС є [65], [100], [126]:

- можливість використання великих фондів прикладних програм;
- можливість підключення до системи зовнішньої пам'яті великої ємності;
- можливість підключення до системи зовнішніх засобів реєстрації (документування) результатів вимірювань;
- можливість порівняно спрощеної зміни (розширення) функціональних можливостей за рахунок використання широкого спектру одноплатних вимірювальних модулів;

– можливість створення засобів з архітектурою, що програмується, тощо.

Особливістю такої КДА з архітектурою, що програмується, є гнучкість їх апаратурної організації, яка забезпечується тим, що комп'ютери можуть з'єднувати вимірювальні елементи в комбінацію, відповідну конкретній вимірювальній задачі [65]. За рахунок цього підвищується ефективність завантаження функціональних елементів (модулів) КДА та її швидкодія.

На відміну від КДА на основі КВС, мікропроцесорна КДА містять у своєму складі не ЕОМ, а вбудований мікропроцесор, який жорстко запрограмований на виконання визначених вимірювальних функцій. Майже у тих випадках, коли в КДА вбудовується ще оперативний запам'ятовуючий пристрій, алфавітно-цифрова клавіатура та дисплей, все рівно слід говорити про мікропроцесорну КДА, якщо вона є не такою, що перепрограмується, а запрограмованою [100].

Точність такої КДА підвищена за рахунок зменшення похибок, пов'язаних з нестабільністю внутрішнього джерела зразкової напруги (міри). У процесі самокалібрування КДА порівнює поточне значення напруги зразкового джерела з його цифровим еквівалентом, що закладений у пам'ять у вигляді відповідного цифрового коду. Результат порівняння запам'ятовується та використовується для відповідного коригування виміряного значення вхідної величини.

По суті, у такій апаратурі зразковою мірою являється цифровий код, щодо якого у кожному циклі вимірювань повіряється джерело зразкової напруги, що виконує, по суті, функцію вторинної робочої міри.

Похибки, пов'язані з нестабільністю зразкової міри, у цьому випадку виключені повністю та точність такої перевірки визначається виключно розрядністю цифрового коду та похибкою цифро-аналогового або аналого-цифрового (залежно від порівняння в аналоговій або цифровій формі) перетворювання [64].

Таким чином, еволюція автоматизації контролю та діагностування технічного стану засобів водного транспорту необхідно проводити шляхом інтеграції вимірювальних та обчислювальних засобів та функцій.

Внутрішніми засобами підвищення метрологічних характеристик КДА являються калібрування та самоперевірка. Калібрування здійснюється за допомогою джерел калібрувальних сигналів, які програмно управляються та підключаються комутатором до входів каналів, що підлягають калібруванню. Калібрування дозволяє поліпшити характеристики вимірювальних каналів, які володіють високою входною чутливістю, але що не мають достатньої часової стабільності [100].

Операція калібрування здійснюється програмою, яка входить до складу системного програмного забезпечення (ПЗ), і може бути «запущена» відповідним стандартним зверненням із прикладного ПЗ користувача.

Типові операції калібрування, які виконуються після кожного вимірювання, можуть бути об'єднані до складу системного ПЗ, як стандартні програми. Так як ці операції визначають характеристики системи, вони повинні бути атестовані в складі каналу вимірювання КДА і захищені від вимірювань відповідним чином.

Ця процедура, проведена з метою контролю метрологічних характеристик, а не їх корекції, носить характер «самоперевірки», тобто перевірки, проведеної особистими повірочними пристроями згідно вмонтованій міри. Самоперевірка не замінює перевірку по зовнішнім зразковим засобам (робочим еталонам), але її застосування дає необхідну інформацію, що використовується програмно-апаратними засобами корегування та прогнозування появи похибок.

Самоперевірка вимірювальних каналів здійснюється згідно звичайних методик. Для цього використовуються додаткові комутатори, які підключають канал до блоку вмонтованих мір. Вся система автоматично перевіряється згідно єдиної міри. Таким чином, вмонтовані міри і ПЗ дозволяють швидко та

економно компенсувати недосконалість апаратних засобів і врахувати вплив на них різноманітних деградуючих (дестабілізуючих) факторів у процесі експлуатації апаратури. Процедура самоперевірки системи здійснюється автоматично за короткий час.

Щодо самих вмонтованих мір, то їх контроль повинен здійснюватися зовнішніми зразковими або еталонними засобами.

Відомо, що необхідним мінімумом засобів, які дозволяють здійснити самоперевірку базового комплексу будь-якої гнучкої вимірювальної системи, а саме її електронної частини, яка більше інших піддається зовнішнім впливам, є вмонтовані міри напруги і частоти.

За джерела опорної напруги в КДА взагалі застосовують термокомпенсовані напівпровідникові стабілітрони, рідше – нормальні елементи. Для більшої гарантії в прецизійних засобах вимірювання рекомендується використовувати групову міру напруги, яка складається, як мінімум, з трьох стабілітронів. Періодичні звірення всіх мір групи не тільки підвищують точність групової міри і КДА у цілому, але й служать засобом діагностики стану окремих мір напруги, що входять у групу.

Перевірка групової міри і перевірка гіпотези про статистичну незалежність параметрів дрейфу кожної міри у групі, здійснюється за допомогою пересувних мір порівняння без перевезення КДА до повірочних лабораторій і без демонтажу вузлів.

Переатестація КДА у процесі експлуатації потребує більш розвинутої повірочної служби, яка має можливість доступу до даних не тільки попередніх перевірок, але й до внутрішніх баз даних КДА, що зберігають результат періодичних звірень елементів групової міри. Така служба переатестації групових мір може бути частково децентралізована передаванням функцій перевірки і зберігання результатів програмно-апаратним засобам КДА. У цьому випадку органи перевірки мають лише набір пересувних мір порівняння та після проведення контролю правильності виконання КДА операцій самоперевірки,

завіряють їх видачею відповідного посвідчення. Згідно з існуючими науковими поглядами, функціональний блок вмонтованих мір повинен являти собою апаратно та програмно незалежну систему, пов'язану з іншими тільки через аналогові входи фізичного рівня.

Таким чином, за результатами розгляду головних особливостей метрологічного забезпечення автоматизованої КДА взагалі, можливо сформулювати узагальнені пропозиції щодо організації технічного обслуговування засобів водного транспорту:

- для подібних КДА придатний лише поканальний метод нормування та визначення характеристик, при яких канал вимірювання, навіть віртуальний, розглядується як незалежний засіб вимірювання;

- внутрішніми засобами підвищення (забезпечення) метрологічних характеристик подібної КДА повинні стати калібрування та самоперевірка;

- необхідним мінімумом засобів, які дозволять здійснити самоперевірку електронної частини подібної КДА, є вмонтовані міри напруги і частоти;

- контроль (перевірка) самих вмонтованих мір повинен здійснюватися зовнішніми зразковими або еталонними засобами;

- функціональний блок вмонтованих мір повинен являти собою апаратно і програмно незалежну систему, пов'язану з іншими тільки через аналогові входи фізичного рівня;

- для більшої гарантії в мікропроцесорній магістрально-модульній КДА доцільно використовувати групову міру (функціональний блок або модуль групової міри);

- повинна здійснюватися метрологічна атестація програмного забезпечення КДА, що впливає на метрологічні характеристики (точність вимірювань);

- повинні бути прийняті заходи щодо надійного забезпечення захисту програмних компонентів КДА.

На підставі результатів аналізу сучасної науково-технічної літератури встановлено, що при визначенні перспективних напрямків контролю та діагностування засобів водного транспорту провідні країни світу віддають перевагу вмонтованим системам контролю та діагностування модульної побудови, які включають до свого складу обчислювальну техніку замість зараз існуючої різномірної та неузгодженої сукупності засобів виміральної техніки, приладів і систем автоматизованого контролю.

3.2 Модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою контрольно-діагностичної апаратури

Методи оцінки ефективності будь-яких технологічних процесів завжди конкретні, так як для застосування кількісних методів дослідження завжди необхідний математична модель. Загальних методів побудови моделей, а, отже, і методів оцінки ефективності не існує та в кожному конкретному випадку модель створюється виходячи з цільової спрямованості завдань дослідження, з урахуванням необхідної точності рішень (одержаних результатів) та достовірності використаних вихідних даних [126]. Вимоги до моделей визначаються за їх призначенням та іншими факторами, пов'язаними з реалізацією та практичним застосуванням моделей [129]. З метою забезпечення ефективного моделювання планується досить точно відображення найбільш суттєвих властивостей системи, тобто необхідно, перш за все, забезпечити достовірність результатів моделювання. По-друге, модель повинна відповідати меті аналізу. Створення універсальної моделі або неможливо, або недоцільно.

Усі моделі мають схожі риси: вони є дещо ідеалізованими образами певних аспектів дійсності; імітують реальні складні системи, але при цьому враховують особливості, які цікавлять дослідника, нехтуючи всіма іншими.

Звісно, що це не знецінює моделі, якщо вона використовується згідно зі своїм призначенням, а тільки звужує область, у якій модель є корисною [126].

Поряд з необхідною повнотою відображення найбільш суттєвих зв'язків у системі, не менш важливою властивістю є простота моделі. В певній мірі це передбачає й можливість внесення необхідних змін та доповнень без суттєвих перебудов моделі, для чого доцільно використовувати модульний принцип побудови. Він передбачає створення моделі у вигляді окремих, відносно самостійно оформлених частин, що виконують певні функції для забезпечення високої ефективності розробки, застосування, вдосконалення та зміни моделі без порушення цілісності її функціонування [64].

Таким чином, систему технічного обслуговування засобів водного транспорту пропонується розглядати як складну організаційно-технічну систему, яку можливо віднести до класу великих систем. Оскільки технічне забезпечення передбачає досягнення ряду взаємопов'язаних цілей (забезпечення єдності вимірювань, проведення оцінки технічного стану, правильність вибору апаратури контролю тощо [54], то й модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту повинна бути багатоцільовою.

До основних принципів розробки моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою КДА є [65], [126]:

- максимальне покриття їх основних структурних елементів і систем апаратурою контролю під час експлуатації;
- організаційна сумісність моделі з системою технічного забезпечення;
- функціональна самостійність, яка полягає у розмежуванні задач і обсягів необхідних операцій;
- адаптивність моделі до змін як самих структурних елементів і систем (наприклад, при модернізації), так і необхідної апаратури контролю;
- економічні показники моделі.

Вимогами до такої моделі є також можливість функціонування на базі:

- зосередження основних зусиль на забезпеченні безаварійної експлуатації засобів водного транспорту;
- забезпечення своєчасного виявлення можливих відмов під час експлуатації та оперативного відновлення (ремонт);
- визначення потрібних засобів контролю для забезпечення достовірного визначення технічного стану при мінімальних витратах на таку оцінку.

Розробка моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою КДА потребує декомпозицію її на функціонально-самостійні структурні складові, які відповідають за достовірність результату оцінки технічного стану.

Основні складові моделі залежно від їх призначення визначаються в процесі оптимізації її структури та повинні відповідати системі технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Основні задачі, які покладені на КДА, залежать від організації технічного обслуговування засобів водного транспорту та відповідати стратегії відновлення таких засобів.

Модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою КДА вибирається на основі мінімізації витрат на технічне обслуговування засобів водного транспорту.

Критерієм ефективності функціонування моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою КВС є мінімум вартості та часу на технічне обслуговування при забезпеченні потрібного рівня достовірності визначення технічного стану таких засобів для попередження можливих аварій під час рейсу. Задача обґрунтування оптимальної кількості рівнів моделі оцінки, обсягів заходів оцінки і номенклатури апаратури контролю пропонується розраховувати методами математичного програмування. При цьому змінними у моделі є номенклатура апаратури контролю.

Обмеженнями при моделюванні виступають:

- кількість рівнів оцінки технічного стану;
- коефіцієнт використання апаратури контролю;
- витрати (економічні та часові) на оцінку технічного стану;
- вимоги до достовірності оцінки.

Результати розв'язання задачі обґрунтування оптимальної моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою КВС є вихідними даними для розробки системи технічного обслуговування таких засобів під час експлуатації.

З урахуванням теорії системного аналізу запишемо вектор моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою КДА [126]:

$$M_{TC} = \langle M, R, Z, Y, F, \Sigma \rangle, \quad (3.1)$$

де M – складові моделі;

R – зв'язки між складовими моделі;

Z – фактори, які впливають на оцінку технічного стану;

Y – вплив результатів оцінки на ефективність застосування засобів водного транспорту;

F – функції оцінки технічного стану (вимірювальний контроль параметрів, відновлення несправностей, заміна несправних елементів тощо);

Σ – відповідність між складовими моделі M і функцією оцінки технічного стану F (залежить від апаратури контролю та параметрів контролю).

Модель оцінки технічного стану є динамічною, нерегулярною, ергономічною системою з елементами адаптації (зі змінною структурою), для якої R змінюється залежно від обстановки. Особливістю моделі є можливість адаптації. Так, існуюча система технічного обслуговування засобів водного транспорту не передбачає зміну залежно від модернізації засобів у цілому або їх складових елементів або блоків. Тому, після проведення модернізації, зазвичай, використовуються старі нормативні документи (наприклад,

періодичність оцінки, встановлена директивно, не змінюється після проведення модернізації), не передбачена зміна структури системи технічного обслуговування засобів водного транспорту. Ієрархічна структура моделі, яка відповідає апаратурі контролю, визначається складовими M , R , а програма функціонування – складовими Z , Y , F .

Множину M представимо у вигляді наступних підмножин: N^O , M^1 , N^{Ob} . При цьому відмітимо, що $M = N^O \cup M^1 \cup N^{Ob}$, $N^O \cap M^1 \cap N^{Ob} = \emptyset$. Тоді елементи підмножини N^O відповідають засобам водного транспорту (складовим елементам або блокам), які потребують проведення технічного обслуговування. Елементи підмножини M^1 включають номенклатуру засобів контролю. Елементи підмножини N^{Ob} описують кількість засобів водного транспорту (складових елементів або блоків), які пройшли технічне обслуговування.

Відношення $R \subset M \times M$ характеризує взаємозв'язок між елементами моделі. При цьому під взаємозв'язком пропонується розуміти інформаційні зв'язки, які відповідають показникам достовірності, оперативності та вартості технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Множина факторів Z , які впливають на оцінку технічного стану, є зміною, що відповідає переминам потоків засобів водного транспорту, які потребують технічного обслуговування, згідно відповідних перемін кількості апаратури контролю та робочих місць із обслуговування таких засобів.

Множина Y є впливом потоку засобів водного транспорту, які підлягають технічному обслуговуванню, на ефективність їх використання (технічний стан на всьому маршруті руху у рейсі).

Множина функцій F , які є результатами оцінки технічного стану засобів водного транспорту, характеризує визначені на множинах Z і Y відображення, реалізовані елементами множини M . Відношення відповідності Σ ставить у відповідність елементам моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту реалізовані ними функції, тобто відбиває єдність програми

функціонування, оцінки технічного стану та структури системи технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Представимо множини Z і Y у вигляді підмножин Z_1, Z_2 ($Z = Z_1 \cup Z_2, Z_1 \cap Z_2 = \emptyset$), які представляють собою входи Z_1 в системи технічного обслуговування засобів водного транспорту і входи Z_2 в елементи моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту, проміжні виходи Y_1 (виходи системи технічного обслуговування елементів) і виходи Y_2 (виходи моделі оцінки технічного стану). Тоді функції елементів M системи технічного обслуговування засобів водного транспорту можуть бути записані в наступному вигляді:

$F_{1i} \subset Z_{1i} \times Y_{1i}$ – функції обслуговування засобів водного транспорту, яким необхідне його проведення (надійшов термін обслуговування або є необхідність);

$F_{21i} \subset Z_{2i} \times Y_{1i}$ – функції продуктивності елементів моделі оцінки технічного стану (можливості апаратури контролю щодо проведення оцінки технічного стану);

$F_{2i} \subset Z_{2i} \times Y_{2i}$ – функції впливу на справність засобів водного транспорту після проведення технічного обслуговування, причому $Y_{1i} \subset \{Z_{2i}\}$.

Програма функціонування системи технічного обслуговування засобів водного транспорту реалізується на основі функціонування її елементів, які виконують оцінку технічного стану. Систему технічного обслуговування засобів водного транспорту пропонується розділити на три підсистеми:

– систему забезпечення M_{TC}^3 , елементи якої призначені для виконання функції управління:

$$M_{\text{TC}}^3 = \langle N^0, R_1, Z \cup O, F_1, \Sigma_1 \rangle,$$

де O – множина вказівок, які надані системою забезпечення (виробник засобу водного транспорту, нормативні документи з експлуатації окремих елементів і блоків таких засобів. Ця підсистема здійснює управління системою технічного обслуговування засобів водного транспорту;

– систему обслуговування M_{TC}^{Ob} , елементи якої безпосередньо реалізують функції оцінки технічного стану засобів водного транспорту:

$$M_{TC}^{Ob} = \langle M^1, R_2, U, O, F_{21}, \Sigma_2 \rangle,$$

де U – множина інформації, яка надходить від підсистеми забезпечення про стан парку засобів водного транспорту, які підлягають обслуговуванню, а також про фактори впливу на результати функціонування апаратури контролю;

– систему впливу M_{TC}^B , елементи якої впливають на справність (своєчасність виявлення відмов і їх усунення) засобів водного транспорту:

$$M_{TC}^B = \langle N^{ob}, R_3, V, F_2, \Sigma_3 \rangle,$$

де V – кількість інформації про технічний стан засобів водного транспорту та його вплив на ефективність їх застосування за призначення (підтримання справності під час руху за маршрутом).

При зміні появи позаштатних ситуацій (наприклад, погодні умови, аварії тощо) змінюється й система технічного обслуговування засобів водного транспорту за рахунок позапланових обслуговувань. Таку ситуацію представимо вектором

$$S(t) = [S_{00}(t), S_{11}(t), \dots, S_{1\ell}(t), \dots, S_{2\ell}(t), \dots, S_{j\ell}(t)],$$

де $j = 1, \dots, L$ – кількість наборів апаратури контролю для проведення оцінки технічного стану засобів водного транспорту (знаходяться на борту засобу);

$\ell = 1, \dots, B$ – кількість наборів наявної апаратури із зберігання (додаткові засоби технічного обслуговування, наприклад, спеціалізовані групи заводів, портів тощо), яку можна додатково залучити для проведення оцінки технічного стану засобів водного транспорту.

Складові вектора $S(t)$ визначають основні властивості системи технічного обслуговування засобів водного транспорту, наприклад, неможливість проведення оцінки технічного стану засобів водного транспорту j -им і ℓ -им зразками апаратури контролю. Стан системи технічного обслуговування засобів водного транспорту $S_{12}(t)$ відповідає випадку неможливості оцінки технічного стану засобу за допомогою одного набору апаратури контролю для проведення оцінки технічного стану із комплекту засобу та двох наборів апаратури контролю додаткових засобів технічного обслуговування.

Модель оцінки технічного стану перетворює потік засобів водного транспорту, які потребують обслуговування, в потік засобів, які за результатами обслуговування визнані придатними до експлуатації з потрібним рівнем достовірності відповідно до деякого відношення r_f :

$$N^O r_f N^{Ob} \Leftrightarrow (N^O, N^{Ob}) \in R_F; \quad (3.2)$$

де R_F – графік відношень $r_f (R_F \subset N^O \times N^{Ob})$;

\Leftrightarrow – знак еквівалентності.

З урахуванням виразу для моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту типу «вхід – вихід» буде вектор:

$$M_{TC} = \langle N^O, N^{Ob}, R_F \rangle. \quad (3.3)$$

Так як відношення r_f функціонально $N^{Ob} = F(N^O)$, то:

$$M_{TC} = \langle N^O, N^{Ob}, F \rangle. \quad (3.4)$$

При появі позаштатних ситуацій відсутня однозначна залежність між кількістю засобів водного транспорту, які потребують обслуговування, та засобами, які визнані придатними за результатами такого обслуговування. Це пов'язано з тим, що зазначена неоднозначність виникає через те, що в моделі (3.4) не враховується ряд факторів, наприклад, невизначеність і коливання в трудових ресурсах, обмежена надійність і не узгодження у використанні апаратури контролю додаткових засобів технічного обслуговування. Це суттєво впливає на обсяг засобів водного транспорту, які після його проведення визнані придатними до подальшої експлуатації. Ці фактори характеризують внутрішні властивості моделі, що розробляється.

Нехай сукупність внутрішніх властивостей моделі, визначених на момент часу t , характеризується вектором стану $S_{j\ell}(t)$. Параметри стану визначаються кількістю засобів водного транспорту, які потребують технічного обслуговування, і станом системи в попередній момент часу через відношення:

$$(N^O, S)_{r_1 S} \Leftrightarrow [(N^O, S), S] \in R_1; R_1 \subset (N^O \times S) \times S,$$

або через функцію $S = F(N^O, S)$, тому що відношення r_1 функціонально.

Кількість засобів водного транспорту, які визнані придатними за результатами обслуговування, визначається бінарним відношенням між парою «вхід – стан» і виходом:

$$\begin{aligned} (N^O, S) r_2 N^{Ob} &\Leftrightarrow [(N^O, S), N^{Ob}] \in R_2; \\ R_2 &\subset (N^O \times S) \times N^{Ob}, \end{aligned}$$

або функцією $N^{Ob} = G(N^O, S)$, так як відношення r_2 функціонально.

Функціонування моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту опишемо відношенням:

$$M_{TC} = \langle N^O, S, N^{Ob}, F, G \rangle. \quad (3.5)$$

де G – функція, яка визначає виробничі можливості засобів технічного обслуговування залежно від стану засобів водного транспорту та їх кількості, які потребують обслуговування у даний момент часу.

Отримане співвідношення (3.5) є моделлю оцінки технічного стану засобів водного транспорту типу «вхід – стан – вихід». У даній моделі множина F характеризує апаратуру контролю для оцінки технічного стану засобів водного транспорту. Порівняння результатів застосування отриманої моделі (3.5) для існуючої апаратури контролю на основі КВС дозволяє обґрунтувати особливості застосування останніх, особливо після проведення модернізації засобів водного транспорту [126].

Розв'язання задачі забезпечення оптимальної організації технічного обслуговування засобів водного транспорту для забезпечення їх безаварійної експлуатації під час руху за встановленим маршрутом при мінімальних витратах на обслуговування залежить від раціонального управління оцінкою технічного стану. При цьому важливим критерієм виступає максимальне

значення показника рівня виробничої та технологічної гнучкості системи технічного обслуговування. Виробнича гнучкість системи технічного обслуговування засобів водного транспорту визначає можливість адаптації її структури до зміни цілей і зовнішніх умов, таких, як зміна пріоритетів в обслуговуванні, удосконалення технологічних процесів, обладнання та організаційної структури, упровадження нових методик проведення обслуговування за допомогою сучасної апаратури контролю. Рівень виробничої гнучкості можна кількісно оцінити часом реструктуризації матеріальних, інформаційних та організаційних зв'язків системи технічного обслуговування засобів водного транспорту, необхідних для реалізації функцій системи в умовах вимог, які змінюються.

Технологічна гнучкість системи технічного обслуговування засобів водного транспорту характеризує її можливість ефективно функціонувати при дії внутрішніх технологічних збуреннях, таких як коливання виробничих можливостей засобів технічного обслуговування, нестабільності виконання робіт вимірjuвального контролю параметрів тощо. Технологічну гнучкість системи технічного обслуговування засобів водного транспорту кількісно можна оцінити динамікою критеріюв функціонування в умовах дії технологічних збурень: часом простою засобів водного транспорту під час обслуговування та завантаженням апаратури контролю. З метою розв'язання поставленої задачі забезпечення оптимальної організації технічного обслуговування засобів водного транспорту запропонована модель оцінки технічного стану таких засобів під час експлуатації за допомогою КДА. Розроблена модель дозволяє оцінити ефективність застосування КДА при технічному обслуговуванні засобів водного транспорту порівняно з існуючою апаратурою контролю.

Подальші дослідження будуть направлені на оцінку показників ефективності застосування КДА при оцінці технічного стану засобів водного транспорту за допомогою розробленої моделі.

3.3 Математична модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту

Підтримання потрібного рівня справності засобів водного транспорту можливо при ефективному функціонуванні відповідної системи їх технічного обслуговування, вираз (3.5). Така система включає в себе контроль технічного стану за допомогою КДА та проведення операцій (залежно від результатів контролю) з підтримки технічної справності для збільшення готовності засобів водного транспорту до експлуатації [44], [48].

Результати аналізу існуючих моделей технічного обслуговування складних виробів, оцінки впливу характеристик КДА на процеси вимірювань і вимірювального контролю параметрів виробів дозволяють вибрати критерій кращої або раціональної (оптимальної) організації системи технічного обслуговування засобів водного транспорту з урахуванням умов їх експлуатації [144]. Дослідження показують, що недосконала система технічного обслуговування засобів водного транспорту може звести нанівець результати якісної перевірки і ремонту, виконані окремо [82], [103]. Так, несвоєчасно виявлені відмови можуть бути причинами додаткових втрат (наприклад, матеріальних, часових) під час руху засобів водного транспорту за маршрутом. Однак, слід враховувати і витрати на проведення контролю технічного стану засобів водного транспорту, які можуть значно збільшувати витрати на експлуатацію засобів водного транспорту за рахунок неоптимального проведення технічного обслуговування [65], [100].

Результати аналізу сучасного стану парку КДА для контролю технічного стану складних комплексів, у тому числі сучасних засобів водного транспорту, показують, що він містить достатньо широкий арсенал засобів для вимірювання будь-яких величин. Але до недавнього часу при розробці засобів

водного транспорту, як правило, не передбачалось сумісне їх використання у складі інших засобів контролю, більш складних за структурою та організацією. У більшості випадків КДА використовувались тільки у вигляді окремих автономних приладів, які призначені для вимірювання однієї величини або невеликої групи, як правило, однорідних величин. Це обмежувало потенційні можливості їх використання. Розширення можливостей щодо використання КДА дає створення на їх основі інформаційно-вимірювальних систем або КВС [64], [103].

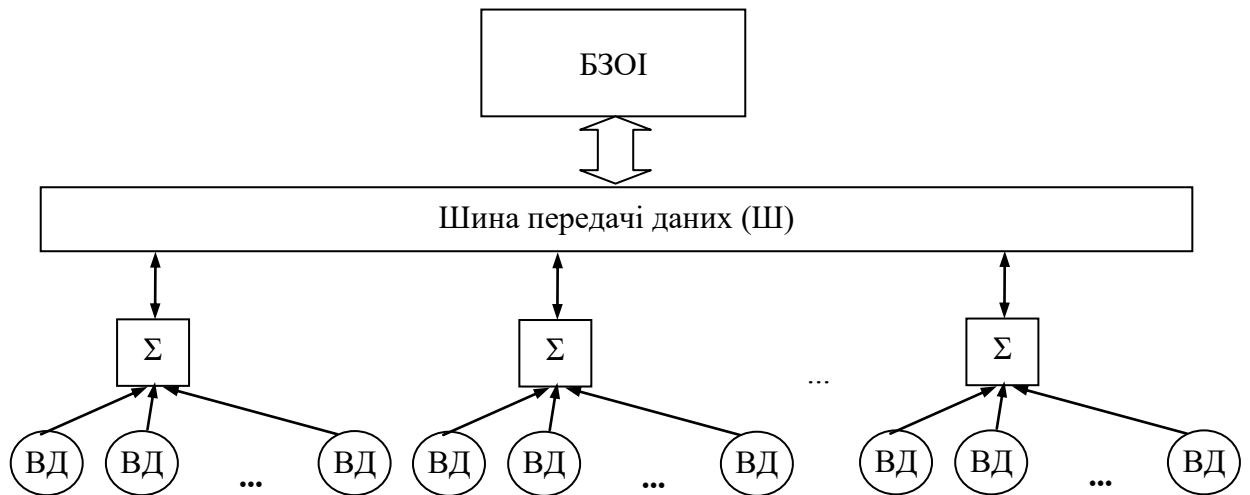
При визначенні технічного стану засобів водного транспорту актуальним є розробка та впровадження сучасної вимірювальної техніки. Крім того, експлуатація засобів водного транспорту за фактичним станом і прогнозування їх технічного стану передбачає наявність відповідної КДА, бажано мобільної [103].

Розробимо математичну модель функціонування складових уніфікованої КДА для контролю технічного стану засобів водного транспорту.

Сучасні зразки КДА представляють собою взаємодію складних вимірювально-інформаційних блоків. Така КДА має складну ієрархічну структуру відповідно моделі (3.5), наприклад, показану на рисунку 3.1 [103].

Дані від вимірювальних датчиків про інформацію про параметри контролю засобів водного транспорту (або окремих елементів, блоків засобів водного транспорту) надходять у блок збору та обробки інформації через суматори інформації та шини передачі даних.

На суматорах проводиться попередня обробка вимірювальної інформації від вимірювальних датчиків, а в блок збору та обробки інформації – визначення результату контролю технічного стану засобів водного транспорту у цілому та складових елементів, блоків. При цьому такий блок збору та обробки інформації за отриманою інформацією дозволяє прогнозувати зміну технічного стану складових елементів, засобів вимірювань протягом деякого часу подальшої експлуатації, тобто проводити діагностування.



БЗОІ – блок збору та обробки інформації; ВД – вимірювальні датчики;

Σ – суматор вимірювальної інформації (засіб вимірювання);

Ш – шина передачі даних

Рисунок 3.2 – Структура сучасної контрольно-діагностичної апаратури

Джерелами інформації про технічний стан ЗВТ є результати вимірювання параметрів контролю, наприклад, напруги, струму, частоти – фізичних характеристик об'єкта контролю. Таким чином, розробка сучасної КДА представляє собою актуальну задачу раціонального вибору та об'єднання вимірювальних датчиків, засобів вимірювання та обробки вимірювальної інформації про технічний стан для прийняття рішення щодо подальшої експлуатації засобів водного транспорту.

При створенні мобільної КДА для контролю технічного стану різних типів засобів водного транспорту не достатньо використовувати тільки вимірювальні датчики. Для уніфікації мобільної КДА з контролю технічного стану різних засобів водного транспорту пропонується використовувати однотипні вимірювальні датчики. У цьому випадку суматорами вимірювальної інформації виступають засоби вимірювання, а датчиками – джерелами інформації про параметри контролю засобів водного транспорту. Отже, задачу

раціонального вибору та об'єднання складових КДА сформулюємо так. Необхідно визначити такий набір (номенклатуру) засобів вимірювання, щоб забезпечити своєчасне та достовірне визначення технічного стану різних типів засобів водного транспорту.

Поставлена задача раціонального вибору та об'єднання вимірювальних датчиків неодноразово розглядалася в літературі [103], [129]. Однак, відомі задачі мають головний недолік – вони розглядають задачу визначення набору (номенклатури) засобів вимірювання для раціонального контролю параметрів того чи іншого зразка засобів водного транспорту. Однак у відомих задачах не враховані можливості об'єднання такої раціональної номенклатури засобів вимірювання у окрему систему, не розглядається раціональне їх розміщення та взаємодія за допомогою каналу загального користування.

Отже, розглянемо таку задачу. Нехай при контролі технічного стану засобів водного транспорту у просторі розташовані вимірювальні датчики, блок збору та обробки даних і шина передачі даних. Необхідно таким чином підібрати номенклатуру засобів вимірювання заданих (потрібних) їх типів, таким чином розмістити цей набір і об'єднати їх в мережу, щоб були виконані всі потрібні вимоги до техніко-економічними показниками КДА.

Під техніко-економічними показниками роботи такої КДА будемо розуміти точність і надійність роботи, а також її вартість у широкому сенсі, тобто власне вартість системи, її масу, обсяг, займаний складовими.

Раціональний вибір і об'єднання елементів у розглянуту апаратуру може бути спрямована на пошук екстремуму одного цих показників за умови, що на інші показники накладені обмеження, згідно до тактико-технічних характеристик проектного приладової апаратури. Тоді результат вирішення сформульованого завдання полягає в раціональному показнику за критерієм оптимізації структури КДА при виконанні обмежень щодо інших показників.

Вимогою до точності переданої в блок збору й обробки інформації є забезпечення опитування джерел інформації з необхідної для них частотою.

При виконанні цієї вимоги похибки, пов'язані з дискретизацією результатів вимірювань, не перевищуватимуть допустимого рівня.

Вимогою до надійності передачі вимірювальної інформації від датчиків до блоку збору та обробки даних є забезпечення в проектуваній КДА декількох шляхів доставки інформації від джерел особливо цінних даних (залежно від важливості параметрів контролю).

При прийнятих оцінках точності та надійності роботи проектуваної КДА завдання вибору та об'єднання її елементів, що мають структуру із загальною шиною, ставиться так: вибрати набір інформації із заданих їх типів, розмістити цей набір у просторі та підключити до нього джерела інформації (вимірювальні датчики) так, щоб вартість спроектованої апаратури була мінімальною та щоб апаратура задовольняла таким вимогам:

- кожний вимірювальний датчик засобів вимірювання видає інформацію в блок обробки з частотою, не менше заданою;

- від кожного вимірювального датчику до відповідного засобу вимірювання у спроектованій апаратурі має бути задана кількість шляхів передачі даних;

- вартість використаних у апаратурі засобів вимірювання не повинна перевищувати заданий рівень;

- обсяг засобів вимірювання, які раціональним чином розташовані та розміщені у КДА, здійснюють збір і обробку результатів вимірювань не повинен перевищувати заданих для цих областей обмежень;

- маса номенклатури засобів вимірювання, обраної для використання в проектуваній системі, і маса мережі зв'язку вимірювальних датчиків – не повинні перевищувати заданий рівень.

У розглянутій постановці задача раціонального вибору та об'єднання складових елементів, блоків КДА формалізується як модель лінійного програмування. Розглянемо таку модель.

Нехай проектована апаратура, структура якої показана на рисунку 1, включає N вимірювальних датчиків. Вимірювальна інформація таких датчиків може надходити в шину передачі даних через M областей, де можливе розміщення засобів вимірювання, здійснюють її первинну обробку. Відомо K типів засобів вимірювання, які можна використовувати в проектованій апаратурі.

Такі величини визначають розмірність сформованої моделі. Крім того, задані наступні величини, що характеризують сукупність вимірювальних датчиків, з яких необхідно зібрати і обробити інформацію, і набір типів засобів вимірювання.

Для кожного з вимірювальних датчиків відомі: мінімальна частота, з якою він видає вимірювальну інформацію, $F_\lambda, \lambda = \overline{1, N}$; кількість шляхів передачі даних від цього датчика до відповідного засобу вимірювання $N_\lambda, \lambda = \overline{1, N}$; вартість $w_{1\lambda}$ і маса $\gamma_{1\lambda}$ одиниці довжини зв'язку, що з'єднує даний датчик з засобом вимірювання, $\lambda = \overline{1, N}$, і довжини шляхів від кожного з датчиків до засобів вимірювання, $l_{\lambda t}, \lambda = \overline{1, N}, t = \overline{1, M}$.

Для типів засобів вимірювання відомі: вартість w_{2v} , частота опитування вимірювальних датчиків F_v , маса γ_{2v} , об'єм (обсяг), займаний засобами даного типу, v_v , кількість вхідних каналів $Q_v, v = \overline{1, K}$.

Введемо в розгляд змінну:

$$\delta l_{\lambda t} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \lambda\text{-те джерело інформації опитується в } t\text{-й області,} \\ & \text{де можливе розміщення засобу вимірювання;} \\ 0 & \text{– в іншому випадку.} \end{cases}$$

і числову змінну y_{vt} – кількість засобів вимірювання v -го типу, використаних у спроектованій КДА для опитування датчиків в t -й області. Кожна із змінних

y_{vt} може приймати значення 0, 1, 2, ..., k_v^t , де k_v^t – кількість засобів вимірювання v -го типу, необхідне для опитування всіх вимірювальних датчиків засобами вимірювання цього типу в t -й області.

Потрібно знайти такі значення змінних $\delta l_{\lambda t}$, $\lambda = \overline{1, N}$, $t = \overline{1, M}$ і y_{vt} , $v = \overline{1, K}$, $t = \overline{1, M}$, які забезпечують мінімальну вартість спроектованої апаратури за умови виконання вимог до неї, сформульованих вище.

Функція цілі моделі – вартість мережі збору та обробки вимірювальної інформації із загальною шиною – має вигляд:

$$W = W_0 + \sum_{t=1}^M \sum_{\lambda=1}^N w_{1\lambda} l_{\lambda t} \delta l_{\lambda t} + \sum_{t=1}^M \sum_{v=1}^K w_{2v} y_{vt}, \quad (3.6)$$

де W_0 – вартість блоку збору та обробки інформації.

Знайдемо мінімум функції (3.6) за умови виконання таких обмежень.

1. Інформативність отриманої вимірювальної інформації не повинна перевищувати інформативності засобів вимірювання, використаних для їх опитування в цій області:

$$\sum_{\lambda=1}^N F_{\lambda} \delta l_{\lambda t} \leq \sum_{v=1}^K F_v Q_v y_{vt}, \quad t = \overline{1, M}. \quad (3.7)$$

2. Кількість вимірювальних датчиків, опитуваних у кожній області на кожній частоті, не повинно перевищувати кількості каналів цієї або більшої частоти у засобах вимірювання, встановлених у ході проектування цієї апаратури:

$$\sum_{\lambda=1}^N \theta_{1\lambda j} \delta l_{\lambda t} \leq \sum_{v=1}^K \theta_{2vj} Q_v y_{vt}, \quad t = \overline{1, M}, j = \overline{1, J}, \quad (3.8)$$

$$\theta_{1\lambda j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } F_\lambda = F_j; \\ 0 & \text{– в зворотньому випадку;} \end{cases} \quad \theta_{2\lambda j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } F_v \geq F_j; \\ 0 & \text{– в зворотньому випадку;} \end{cases}$$

де J – кількість різних частот, на яких потрібно вимірювати параметри інформації в спроектованій апаратурі.

Сформульовані обмеження (3.7), (3.8) забезпечують отримання вимірювальної інформації опитування кожного з джерел інформації в спроектованій КДА з частотою, не меншою, ніж та, яка для нього задана у вимогах на апаратуру [103].

3. Від кожного λ -го вимірювального датчика в спроектованій апаратурі має існувати задана кількість N_λ шляхів передачі даних:

$$\sum_{t=1}^M \delta_{1\lambda t} = N_\lambda, \lambda = \overline{1, N}. \quad (3.9)$$

4. Вартість використаних при створенні апаратури засобів вимірювання не повинна перевищувати заданого рівня W_2 :

$$\sum_{t=1}^M \sum_{v=1}^K w_{2v} y_{vt} \leq W_2. \quad (3.10)$$

5. Кількість вимірювальних датчиків, які встановлені в t -у область простору КДА для визначення вимірювальної від джерел, не перевищує певної кількості, характерного для цієї області, V_t :

$$\sum_{t=1}^M \sum_{\lambda=1}^K \gamma_{1\lambda} \delta_{1\lambda t} + \sum_{t=1}^M \sum_{v=1}^K \sum_{\xi=1}^{k_v^t} \gamma_{2v} \delta_{2v}^{\xi} \leq W_1. \quad (3.11)$$

6. Маса мережі збору інформації проектованої системи не повинна перевищувати заданого для неї рівня W_1 :

$$\sum_{t=1}^M \sum_{v=1}^K \gamma_2^v y_{vt} \quad (3.12)$$

де $\sum_{t=1}^M \sum_{v=1}^K \gamma_2^v y_{vt}$ – маса встановленого в апаратуру набору засобів

вимірювання; $\sum_{\lambda=1}^N \sum_{t=1}^M \gamma_1^{\lambda} 1_{\lambda t} \delta 1_{\lambda t}$ – маса мережі зв'язку вимірювальних датчиків.

Модель (3.6) – (3.12) є задачею лінійного програмування [107].

Розглянута задача раціонального вибору та об'єднання елементів, блоків КДА, що мають структуру із загальною шиною, може бути формалізована як модель лінійного програмування. Використання при цьому булевих змінних, що приймають тільки два значення (0 і 1), спрощує обчислювальні процедури при визначенні оптимальних рішень задач математичного програмування.

Будь-яка числова змінна, у тому числі й змінна y_{vt} моделі (3.6) – (3.12), може бути виражена через булеві змінні. Існує два способи заміни числової змінної $0 \leq y_{vt} \leq k_v^t$. Позначимо через δ_{vt}^{ξ} булеву змінну, яка приймає такі значення:

$$\delta_{vt}^{\xi} = \begin{cases} 1, & \text{якщо один } \xi - \text{й концентратор } v - \text{го типу використаний} \\ & \text{в системі в } t - \text{й області;} \\ 0 & - \text{в зворотньому випадку.} \end{cases}$$

Тоді

$$y_{vt} = \delta 2_{vt}^1 + \delta 2_{vt}^2 + \dots + \delta 2_{vt}^{k_v^t}.$$

Інше двійкове подання змінної y_{vt} , більш економне з точки зору кількості булевих змінних, які заміняють числову, задається формулою:

$$y_{vt} = \delta 2_{vt}^1 + \delta 2_{vt}^2 + 2^2 \delta 2_{vt}^3 + \dots + 2^{k_1^t - 1} \delta 2_{vt}^{k_1^t},$$

де k_1^t – найменше ціле число, яке визначається з нерівності $2^{k_1^t} - 1 \geq k_v^t$; $k_1^t < k_v^t$.

Використовуємо другий спосіб заміни змінної y_{vt} булевими змінними, тоді кількість змінних, що описують розміщення при проектуванні апаратури, щодо набору засобів вимірювання,

$$k_1 = \sum_{t=1}^M \sum_{v=1}^K k_1^t.$$

Модель оптимізації структури КДА, що має загальну шину для передачі даних, запишеться через змінні $\delta 1_{\lambda t}$, $\delta 2_{vt}^{\xi}$ у вигляді: мінімізувати вартість мережі збору та обробки інформації

$$W = W_0 + \sum_{t=1}^M \sum_{\lambda=1}^N w_{1\lambda} 1_{\lambda t} \delta 1_{\lambda t} + \sum_{t=1}^M \sum_{v=1}^K \sum_{\xi=1}^{k_v^t} w_{2v} \delta 2_{vt}^{\xi} \quad (3.13)$$

при таких умовах

$$\sum_{\lambda=1}^N F_{\lambda} \delta 1_{\lambda t} \leq \sum_{v=1}^K \sum_{\xi=1}^{k_1^t} F_v Q_v \delta 2_{vt}^{\xi}, \quad t = \overline{1, M}; \quad (3.14)$$

$$\sum_{\lambda=1}^N \theta 1_{\lambda j} \delta 1_{\lambda t} \leq \sum_{v=1}^K \sum_{\xi=1}^{k_1^t} \theta 2_{vj} Q_v \delta 2_{vt}^{\xi}, \quad t = \overline{1, M}; \quad j = \overline{1, J}; \quad (3.15)$$

$$\sum_{t=1}^M \delta 1_{\lambda t} = N_{\lambda}, \quad \lambda = \overline{1, N}; \quad (3.16)$$

$$\sum_{t=1}^M \sum_{v=1}^K \sum_{\xi=1}^{k_1^t} w 2_v \delta 2_{vt}^{\xi} \leq W_2; \quad (3.17)$$

$$\sum_{v=1}^K \sum_{\xi=1}^{k_1^t} v_v \delta 2_{vt}^{\xi} \leq V_t, \quad t = \overline{1, M}; \quad (3.18)$$

$$\sum_{t=1}^M \sum_{\lambda=1}^K \gamma 1_{\lambda} 1_{\lambda t} \delta 1_{\lambda t} + \sum_{t=1}^M \sum_{v=1}^K \sum_{\xi=1}^{k_1^t} \gamma 2_v \delta 2_{vt}^{\xi} \leq W_1. \quad (3.19)$$

Умови (3.14), (3.15) гарантують отримання вимірювальної інформації проєктованої апаратури з необхідною для них частотою. Обмеження згідно виразу (3.16) забезпечує вимогу з надійності доставки інформації від датчиків до засобів вимірювання. Умова (3.17) впливає з вимоги про те, щоб вартість використаних у апаратурі засобів вимірювання не перевищувала заданого рівня. Умова (3.18) обмежує обсяг (об'єм, маса) засобів вимірювання, що встановлюються в області, що примикають до шини даних, для введення в нього інформації від датчиків. Умова (3.19) обмежує масу проєктованої мережі збору інформації.

Модель (3.13) – (3.19) є задачею лінійного програмування з булевими змінними і з обмеженнями загального вигляду [108], [109]. Для її вирішення пропонується застосувати один з алгоритмів неявного перебору.

Відмітимо, що методи вирішення задач математичного програмування звичайно розробляються для одноіндексних моделей. Отримані моделі є багатоіндексними. Перейдемо від них до одноіндексних моделей. Для

отримання з моделі (3.6) – (3.12) одноіндексної замінимо змінні $\delta 1_{\lambda t}$ і y_{vt} однієї змінної x_j , тобто замінимо пари індексів λ, t і v, t одним індексом j .

Позначимо через c_j коефіцієнти цільової функції при змінних x_j ; через a_{ij} – коефіцієнти, а через b_i – вільні члени обмежень моделі у вигляді нерівностей. Тоді модель (3.6) – (3.12) приведе до наступної одноіндексної повністю лінійної моделі математичного програмування:

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min \quad (3.20)$$

при умовах:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + b_i \geq 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (3.21)$$

$$\sum_{j \in G_\lambda} x_j = N_\lambda, \quad \lambda = \overline{1, N}; \quad (3.22)$$

$$x_j \in D_g, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3.23)$$

де $n = M(N + K)$; $m = M(2 + J) + 2$; G_λ – підмножини деяких змінних, кожна підмножина G_λ об'єднує булеві змінні, які описують підключення λ -го вимірювального датчика; D_g – області, кожна з яких містить значення у вигляді цілих чисел, які може приймати змінна x_j .

Для отримання одноіндексної моделі з виразів (3.16) – (3.23) застосуємо ту ж методику. Замінимо булеві змінні $\delta 1_{\lambda t}$ і $\delta 2_{vt}^\xi$ однією змінною x_j , що пов'язано із заміною індексів λ, t і v, t і ξ індексом j :

$$j = \begin{cases} \lambda + N(t-1), j \leq NM; \\ \xi + MN, j > MN, v = 1, t = 1; \\ \xi + k_{(v-1)}^t(v-1) + (t-1)\left(\sum_{v=1}^K k_v^{(t-1)}\right), j > MN, v > 1, t > 1. \end{cases}$$

Зворотний перехід від індексу j до індексів λ , t і v , t , ξ відбувається навпаки.

Використовуємо ті ж позначення, що і при отриманні моделі (3.20) – (3.23), тоді модель (3.13) – (3.19) призведе до моделі вигляду:

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min \quad (3.24)$$

при умовах:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + b_i \geq 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (3.25)$$

$$\sum_{j \in G_\lambda} x_j = N_\lambda, \quad \lambda = \overline{1, N}; \quad (3.26)$$

$$x_j = \begin{cases} 0, & j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (3.27)$$

Тоді кількість змінних $n = MN + \sum_{v=1}^K \sum_{t=1}^M k_v^t$, а кількість обмежень m не

змінилося порівняно з попередньою моделлю.

Отримано модель (3.24) – (3.27) лінійного програмування з булевими змінними. На відміну від моделей такого типу, до яких приводили задачі розміщення та об'єднання елементів приладових комплексів з ієрархічною структурою, запропонована задача не містить обмежень, які розбивають безліч

змінних на непересічні підмножини, в кожній з яких лише одна змінна приймає значення, рівне одиниці.

Запропонована задача раціонального вибору та об'єднання елементів, блоків КДА, які мають структуру із загальною шиною. Показано, що така задача формалізована як модель лінійного програмування. Запропоновано використання у задачі булевих змінних, які приймають тільки два значення (0 і 1), для спрощення обчислювальних процедур при визначенні раціональної структури синтезованої КДА [103].

Розроблена модель вибору та об'єднання елементів, блоків КДА для контролю технічного стану ЗВТ є задачами лінійного програмування, розв'язання яких дозволяє визначити раціональну номенклатуру складових засобів вимірювання для комплектування. Для розв'язання поставлених задач пропонується використовувати методи відсікань або комбінаторні методи.

Висновки по розділу 3

1. Сформульовано переваги синтезу уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури на основі комп'ютерно-вимірювальних систем: можливість використання великих фондів прикладних програм; можливість підключення до системи зовнішньої пам'яті великої ємності; можливість підключення до системи зовнішніх засобів реєстрації (документування) результатів вимірювань; можливість порівняно спрощеної зміни (розширення) функціональних можливостей за рахунок використання широкого спектру одноплатних вимірювальних модулів; можливість створення засобів з архітектурою, що програмується, тощо.

2. Серед основних принципів розробки моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури виділено: максимальне покриття їх основних

структурних елементів і систем апаратурою контролю під час експлуатації; організаційна сумісність моделі з системою технічного забезпечення; функціональна самостійність, яка полягає у розмежуванні задач і обсягів необхідних операцій; адаптивність моделі до змін як самих структурних елементів і систем (наприклад, при модернізації), так і необхідної апаратури контролю; економічні показники моделі.

3. Розроблено модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою уніфікованої контрольної-діагностичної апаратури методом лінійного програмування з булевими змінними. Запропонована модель дозволяє оцінити ефективність застосування уніфікованої контрольної-діагностичної апаратури при технічному обслуговуванні засобів водного транспорту порівняно з існуючою апаратурою контролю.

4. Розроблена модель вибору та об'єднання елементів, блоків уніфікованої контрольної-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту на основі задачі лінійного програмування. Поставлену задачу пропонується розв'язувати методами відсікань або комбінаторними методами.

Основні результати розділу опубліковані [103], [125], [126], [129].

РОЗДІЛ 4

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ. ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ

У розділі розроблено метод оптимального синтезу параметрів уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури. Наведено особливості тестування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури. Удосконалено модель оцінки технічного стану радіоелектронних елементів засобів водного транспорту. Проведено оцінку ефективності застосування запропонованих методів і моделей.

4.1 Розробка методу оптимального синтезу параметрів уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури

Синтез параметрів приладу, що розробляється, проведений виходячи з наступних його метрологічних характеристик: відносних похибок вимірювання середньоквадратичних значень струму та напруги не більше $\pm 0,5\%$, основних гармонік струму та напруги – не більше $\pm 1\%$, вищих гармонік – не більше $\pm 3v\%$ (v – номер гармоніки), активної і реактивної потужностей – не більше $\pm 1,5\%$, абсолютної похибки вимірювання фазового зсуву між основними гармоніками – не більше $\pm 0,5^\circ$. При цьому прийнято умову, що амплітуди гармонік у сигналах убувають з показником $p = 2$, $k_r \leq 10\%$. Число відліків приймаємо $m = 100$.

Основним показником якості вимірювального приладу є точність. Тому розглянемо задачу оптимального синтезу параметрів КДА за критерієм мінімуму його сумарної похибки (або максимуму точності) [18], [37].

Сумарна похибка КДА залежить від систематичної похибки (математичного сподівання повної похибки $M[\Delta Y]$) та дисперсії випадкової похибки $D[\Delta Y]$. Як показник оптимізації можна взяти сумарну відносну похибку приладу [66]:

$$\delta = (M[\Delta Y] + \sqrt{D[\Delta Y]}) / Y. \quad (4.1)$$

З розглянутих вище складових похибки при фіксованому вхідному сигналі тільки похибки, внесені завадами та стохастичним зсувом моментів дискретизації, є випадковими.

Характер похибки квантування визначається методом і принципом побудови аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

При кодоімпульсному методі АЦП, що характеризується жорстко заданими рівнями квантування, похибка квантування однозначно визначається формою вхідного сигналу і тому є детермінованою.

Для час-імпульсного та частотно-імпульсного АЦП похибка квантування буде детермінованою, якщо старт-імпульс вимірюваного часового інтервалу жорстко синхронізується з лічильними імпульсами, що заповнюють цей інтервал. Якщо ж синхронізація відсутня, то моменти появи старт-імпульсу випадково розподілені в границях періоду лічильних (квантуючих) імпульсів і похибка квантування є випадковою величиною. В практиці вимірювань, однак, не приходиться мати справу з випадком, коли вхідний сигнал жорстко фіксований, тому що при цьому вхідний сигнал точно відомий і його безглуздо вимірювати. У вхідному сигналі будь-якого вимірювального засобу є апріорна невизначеність, яка в результаті вимірювання зменшується. При цих умовах похибку квантування завжди можна вважати випадковою величиною.

Похибка дискретизації та динамічна похибка датування значно менш чутливі до малого змінювання вхідного сигналу. Тому для

вузькоспеціалізованої КДА, коли вхідні сигнали належать до вузького класу, похибку дискретизації і динамічну похибку слід вважати детермінованими.

Що стосується кореляційних зв'язків між складовими сумарної похибки КДА, то за умови, коли ці похибки обумовлені різними та не зв'язаними між собою причинами, їх можна прийняти некорельованими.

Таким чином, сумарну похибку КДА, призначених для роботи з широким ансамблем вхідних сигналів, відповідно до виразу (4.1) можна записати у вигляді:

$$\delta = \sqrt{\delta_{\text{д}}^2 + \delta_{\text{т}}^2 + \delta_{\text{кв}}^2 + \delta_{\xi}^2}, \quad (4.2)$$

де $\delta_{\text{д}}, \delta_{\text{т}}, \delta_{\text{кв}}, \delta_{\xi}$ – відносні значення похибок дискретизації, динамічної, квантування та внесеної завадами відповідно.

Задача оптимального синтезу характеристик КДА полягає в мінімізації сумарної похибки (4.2) при додаткових обмеженнях, що накладаються на модель пристрою аналогово-цифрової обробки сигналів і сигнали, що піддаються обробці. Укажемо ці обмеження:

- варто вважати фіксованим час вимірювання T , яким значною мірою визначаються можливості зі зменшення похибок дискретизації, квантування та обумовленої завадами;

- фіксованими необхідно вважати також параметри, що характеризують клас вхідних сигналів і завад;

- повинні бути задані обмеження, зв'язані з апаратною реалізацією КДА. До них необхідно віднести, насамперед, частоту тактових (у кодоімпульсних) або зразкову частоту (у частотно-імпульсних) АЦП. Підвищення цієї частоти обмежується швидкодією та ємністю лічильних схем, а отже, й вартістю КДА.

Аналіз складових похибки КДА показує, що параметри, які характеризують зазначені обмеження, входять у коефіцієнти a_d, a_t, a_{kv} і коефіцієнт завадостійкості ρ у формулах для складових похибок $\delta_d, \delta_t, \delta_{kv}$ і δ_ξ . Усі ці обмеження прямо або побічно накладають вимоги на обсяг і технічні характеристики окремих функціональних вузлів приладу. Звідси випливає, що зменшення зазначених коефіцієнтів можна досягти або за рахунок жорсткості вимог до окремих вузлів КДА, або за рахунок додаткової обробки вхідних сигналів, наприклад, з метою «очищення їх» від завад або «паразитних» складових. З цієї причини коефіцієнти a_d, a_t, a_{kv}, ρ є коефіцієнтами узагальненої вартості, що характеризують економічну доцільність і можливість технічної реалізації КДА.

Таким чином, у математичній постановці задача оптимального синтезу параметрів КДА зводиться до визначення мінімуму сумарної похибки (функція мети) δ по кількості відліків m при фіксованих коефіцієнтах a_d, a_t, a_{kv}, ρ [64], [128]. При мінімізації похибки можна вважати число відліків m безперервною змінною та визначити мінімум похибки з умови рівності нулю похідних функцій $\delta(m)$, а потім узяти найближче до оптимального ціле значення m . У загальному випадку аналітичне рішення одержати не можна, в той самий час чисельне рішення можна знайти за допомогою персонального комп'ютера, застосувавши стандартні методи пошуку мінімуму, наприклад метод градієнта. Однак у деяких окремих випадках аналітичне рішення можливе. Приведемо два з них:

– нехай основний вклад у сумарну похибку КДА вносять похибки дискретизації та квантування. Тоді формули для сумарної похибки (4.2) приймає вигляд:

$$\delta = a_d / m^p + a_{kv} \sqrt{m}. \quad (4.3)$$

Визначивши оптимальне значення $m_{\text{опт}}$ з умови мінімуму похибки та виразивши потім її як функцію мінімізованої похибки δ_0 , знаходимо:

$$m_{\text{опт}} = [(2p+1)a_d/\delta_0]^{1/p}. \quad (4.4)$$

Оскільки коефіцієнт $a_{\text{кв}}$ зв'язаний з частотою заповнення f_0 час-імпульсного АЦП співвідношенням $a_{\text{кв}} = \alpha/(f_0\gamma T)$, де α – числовий коефіцієнт, що залежить від закону розподілу похибки квантування, а γ – коефіцієнт відновлення АЦП, то для оптимального значення частоти f_0 одержимо:

$$f_{0\text{опт}} = [\alpha/(2p\gamma T a_d)] m_{\text{опт}}^{p+1/2} = (A/T) \delta_0^{-1-1/2p}, \quad (4.5)$$

де $A = [\alpha(2p+1)/(2p\gamma)] [(2p+1)a_d]^{1/2p}$ – числовий коефіцієнт;

– розглянемо випадок, коли в сумарній похибці КДА можна знехтувати похибкою, внесеною завадами, та похибкою дискретизації, наприклад, за умови, що у вхідному сигналі відсутні гармоніки, порядок яких перевищує $(m_{\text{опт}} - 1)$. Тоді необхідно врахувати похибки динамічну та квантування.

Динамічні похибки, що обумовлені інерційністю вхідних ланцюгів МВЗВТ пропорційні відношенню $\sigma_{\text{зм}}/\Delta t$ або $\Delta t_{\text{зм}}/\Delta t$ і можуть бути забезпечені досить малими відповідним вибором величин $\sigma_{\text{зм}}$ і $\Delta t_{\text{зм}}$, що звичайно не викликає труднощів. Тому розглянемо динамічну похибка датування, яка для вхідних сигналів, близьких до гармонічних. Отже, сумарна похибка КДА:

$$\delta = a'_t/m^2 + a_{\text{кв}}\sqrt{m}, \quad (4.6)$$

де $a'_t = \alpha'(\Delta t_{\max} / \Delta t)^2 = \alpha'\gamma^2$;

$$a_{\text{кв}} = \alpha / (f_0 \gamma T).$$

Так, для алгоритму кореляційної обробки $\alpha' = 2\pi^2 / 3$ (при $\nu = 1$), а при «трикутному законі» розподілу похибки квантування $\alpha = 1/\sqrt{6}$.

Оптимальні значення величин m і f_0 знайдемо аналогічно попередньому:

$$m_{\text{опт}} = \left(\frac{5a'_t}{\delta_0} \right)^{1/2} = \frac{\gamma\sqrt{5\alpha'}}{\sqrt{\delta_0}}, \quad (4.7)$$

$$f_{0\text{опт}} = \frac{\alpha m_{\text{опт}}^{5/2}}{4\alpha'\gamma^3 T} = \frac{B}{T} \delta_0^{-5/4}, \quad (4.8)$$

де $B = 5\alpha(5\alpha')^{1/4} / (4\sqrt{\gamma})$.

Відзначимо, що отримані формули для частоти f_0 час-імпульсного АЦП визначають найменше її значення, при якому може бути забезпечена задана похибка δ_0 . Якщо збільшити частоту f_0 , то похибка квантування зменшиться, а, отже, й сумарна похибка КДА також зменшиться (рис. 4.1).

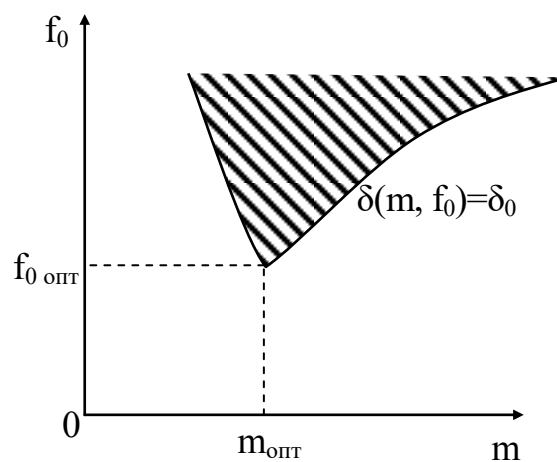


Рисунок 4.1 – Графік відносної похибки час-імпульсного АЦП у площині (m, f_0)

Найбільший ефект, тобто максимальне зменшення сумарної похибки КДА, вийде, якщо разом зі змінюванням частоти f_0 змінювати й кількість точок дискретизації m відповідно до отриманих співвідношень.

У загальному випадку для визначення області припустимих значень частоти заповнення f_0 час-імпульсного АЦП і кількість точок дискретизації m , оптимальних значень частоти $f_{0\text{опт}}$ і кількості точок дискретизації $m_{\text{опт}}$ можна використовувати графічний метод. Для цього в площині змінних (m, f_0) потрібно побудувати криву $\delta(m, f_0) = \delta_0 = \text{const}$ (рис. 4.1), скориставшись співвідношенням (4.1).

Область змінних m, f_0 , яка розташована вище кривої $\delta(m, f_0) = \delta_0$ (на рис. 4.1 заштрихована), дає значення похибки $\delta < \delta_0$, а точка мінімуму на цій кривій – оптимальні значення $m_{\text{опт}}$ і $f_{0\text{опт}}$. Графічний метод можна застосовувати також і для оптимального синтезу параметрів КДА з кодоімпульсними АЦП.

4.2 Аналіз особливостей тестування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури

Автоматизовані вимірювально-інформаційні системи або КВС, до класу яких будуть відноситися перспективні КДА – це складні електронні системи, які потребують у процесі експлуатації здійснення певної сукупності заходів щодо їх технічного обслуговування. У сукупність цих заходів входять профілактичні (регламентні) роботи, контроль (діагностування) технічного стану, пошук несправностей (відмов), відновлення працездатності (ремонт).

У зв'язку з тим, що сучасні автоматизовані КВС, як правило, побудовані з використанням дискретної (цифрової) елементної бази, на електронних комплектуючих елементах четвертого покоління (великі та надвеликі інтегральні схеми, мікропроцесори та мікропроцесорні комплекти

тощо), звичайні (традиційні) засоби контролю та діагностики технічного стану (вимірювальні прилади) знаходять обмежене використання під час їх технічного обслуговування [18], [127].

За даними, що наведені у літературі [64], [100] локалізація несправності займає біля 90% часу відновлення працездатності приладу, який побудований на дискретній елементній базі. Апаратне налагодження не забезпечує достатньої перевірки працездатності КВС у складних режимах, тому найбільш ефективними методами контролю технічного стану КВС вважаються методи тестового контролю (тестування) та самодіагностики, тестування являється необхідним етапом стадій експлуатації та ремонту КВС. Додаткові апаратні затрати на тестування складають невелику частину загальної вартості КВС і зводяться в основному до вартості додаткового ПЗ для зберігання тестової програми.

Застосування мікропроцесору замість КВС надає можливість так організувати роботи КДА і оператора, що навіть при низькій кваліфікації останнього в області обчислювальної техніки можливо локалізувати несправність з точністю до типового елемента заміни (ТЕЗ). Після цього можливо оперативно відновити працездатність приладу шляхом заміни ТЕЗ, що відмовив.

Для модульного тестування необхідно при проектуванні КДА забезпечити взаємну відповідність ТЕЗ та функціональних модулів – це пов'язано з функціональним принципом побудови системи тестів.

Послідовність процедур тестування повинна бути побудована таким чином, щоб кожний модуль при перевірці отримував контрольні сигнали тільки від модулів, що вже були перевірені раніше.

На практиці це не завжди можливо виконати, так як мінімальне працездатне у режимі тестування ядро мікропроцесору включає до себе центральний процесор, пристрій пам'яті та індикатор, декілька ФМ. Можливо розділити усі типи КДА для контролю параметрів засобів водного

транспорту із вмонтованими мікропроцесорами на два основних класи: тестування із застосуванням зовнішніх мір і цілком автономне тестування із застосуванням вбудованих мір. Можливо також використання комбінованих методів.

Для першого типу тестування застосовуються спеціалізовані тестери або системи типу універсальної мікроЕОМ. Програми тестування стандартних блоків (модулів) звичайно входять до програмного забезпечення тестеру; в деяких КДА програми тестування можуть складатися користувачем і, таким чином, він має можливість створення тестових систем для довільних блоків (модулів).

Другий тип тестування – повністю автономне тестування – розрахований на перевірку працездатності КДА в умовах експлуатації без будь-яких додаткових засобів. При цьому функції тестування частіше усього виконує основний процесор, однак можливо й вбудовування у КДА спеціального мікропроцесорного вузла, призначеного лише для самодіагностики.

Залежно від вимог користувача тестування може проводитися в двох основних режимах:

- визначення працездатності – для цього режиму достатньо двох індикаторів, які показують позитивний або негативний результат перевірки модуля або системи в цілому; локалізація несправності може при цьому бути здійснена роздільним запуском тестів окремих модулів. Можливий також варіант з цифровою індикацією номера модуля, що відмовив;

- діагностика несправності – для цього режиму потрібний пристрій виводу повідомлень (дисплей або принтер); локалізація несправності при цьому проводиться за окремими елементами модуля, що підлягає тестуванню, наприклад за розрядами шин даних, адресів і управління.

При автономному тестуванні для зберігання програми тестування використовується або зовнішній пристрій пам'яті (накопичувач на диску),

якщо він є у системі для основного режиму, або, частіше, розміщується у тому ж адресному просторі, що й основний пристрій пам'яті. Це дозволяє економити адресний простір, ураховується те, що під час основної роботи тестове ПЗ не потрібне й доступ до нього можна заборонити спеціальним сигналом. При тестуванні забороняється доступ до основного ПЗ і відкривається доступ до тестового ПЗ. Іноді ПЗ для тестування модулю розміщують конструктивно у окремому модулі. Це дає ряд переваг: більшу автономність тесту, економію адресного простору при використанні ряду змінних модулів та інші.

Те ж саме ПЗ часто використовується для ідентифікації модуля. В складних системах з великою кількістю змінних модулів цей прийом дозволяє позбутися від вводу оператором додаткової інформації при зміні модулів. В ПЗ модуля записуються для вводу до процесору основні технічні характеристики і структурні особливості модуля; у тому ж ПЗ знаходиться протокол зв'язку модуля з центральним процесором [19], [65].

Загальна послідовність модульного тестування КДА з вбудованим мікропроцесором наступна: тест ПЗ \Rightarrow тест центрального процесора \Rightarrow тест дисплея \Rightarrow тест пристрою пам'яті \Rightarrow тест пристроїв зовнішньої пам'яті \Rightarrow тест пристроїв дискретного вводу-виводу \Rightarrow тест пристроїв аналогового вводу-виводу \Rightarrow тест вимірювальної схеми.

Проведення повного тестування модулів (тобто у всіх можливих режимах при всіх комбінаціях вхідних сигналів) неможливо за умови обмеження швидкодії, тому в переліченій серії тестів звичайно використовується обмежена кількість комбінацій вхідних величин, що відповідає найбільш тяжким умовам експлуатації. Ряд функціональних пристроїв доводиться тестувати сумісно, для того, щоб можна було замкнути тестовий ланцюг: мікроЕОМ \Rightarrow завдання тестового сигналу \Rightarrow модуль, що підлягає тестуванню \Rightarrow вихідний сигнал – мікроЕОМ \Rightarrow аналіз вихідного сигналу. Так, пристрої дискретного виводу об'єднуються з пристроями

дискретного вводу; пристрої цифро-аналогового перетворення об'єднуються з пристроями аналого-цифрового перетворення.

Таким чином, за результатами розгляду особливостей тестування КДА можливо зробити наступні висновки:

- для контролю технічного стану традиційні засоби контролю (вольтметри, частотоміри, осцилографи тощо) будуть мало придатними або зовсім непридатними, тому необхідно застосування сучасних методів та засобів тестування та самоконтролю (самодіагностики);

- методи тестування та самоконтролю (самодіагностики) повинні забезпечувати можливість визначення в автоматичному (автоматизованому, діалоговому) режимі місця знаходження відмов (несправностей) з глибиною до ТЕЗ (окремого апаратного або програмного модуля);

- найбільш доцільним для використання під час проектування є метод повністю автономного тестування, який розрахований на перевірку КДА при експлуатації без додаткових засобів. При цьому функції тестування може виконувати ПЗ при управлінні мікропроцесором, або вбудований мікропроцесорний модуль, призначений для самодіагностики.

4.3 Модель оцінки технічного стану радіоелектронних елементів засобів водного транспорту

Основною проблемою засобів водного транспорту є експлуатація в жорстких умовах, пов'язаних з агресивним навколишнім середовищем (вітру, підвищена вологість, солоня вода тощо), і різних кліматичних умовах (особливо для морського транспорту). Таким чином, для забезпечення безаварійної експлуатації засобів водного транспорту необхідна відповідна система контролю їх технічного стану, яка задовольняє певним показникам

ефективності, і система обслуговування, що дозволяє підтримувати необхідний технічний стан [65], [96].

При цьому відзначимо, що найбільш часто виходять з ладу радіоелектронні елементи (РЕЕ) засобів водного транспорту, які включають у себе апаратуру радіонавігації, зв'язку, систем електропостачання тощо. Поява несправності (особливо непоміченою вчасно) в РЕЕ може привести до нештатних ситуацій на засобі водного транспорту або бути причиною катастрофи [70].

Підтримка високого рівня справності (надійності) РЕЕ засобів водного транспорту можливо шляхом підвищення ефективності системи їх технічного обслуговування, яка включає в себе контроль технічного стану за допомогою КДА і проведення операцій (залежно від результатів контролю) з підтримки технічної справності [7], [12], [59].

Аналіз досліджень і публікацій показав, що питанням побудови математичних моделей експлуатації та ремонту складних технічних систем присвячено багато наукових праць, найбільш цікавими з яких є [34], [50], [118]. Але в цих роботах не розглядалися питання організації оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту за допомогою різної за типами КДА і порівняння ефективності їх застосування.

Розглянемо модель оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту за допомогою КДА як систему масового обслуговування з обмеженою кількістю каналів і накопичувачем заявок, які є необслуженими. Кожен канал оцінки технічного стану являє собою складене засіб (елемент) КДА. На вхід моделі надходить потік заявок на оцінку технічного стану з інтенсивністю $\lambda(t)$, що відповідає періодичності контролю. Кожен канал може обслуговувати тільки одну заявку. Регулювання (необхідний ремонт) несправної РЕЕ виконується з інтенсивністю $\mu(t)$. Потіки заявок і їх реалізація в загальному випадку можуть бути нестационарними і неординарними, але марковськими, з відсутністю післядії [49], [109]. Тобто,

якщо в даний момент часу t система отримала i виконує заявку з обслуговування зразка РЕА засобів водного транспорту, то це не визначає, надійде нова заявка в наступний проміжок часу $t + \Delta t$. Так само це ніяк не впливає на ймовірність надходження заявки на обслуговування в інший канал системи (складене засіб (елемент) КДА). Після обслуговування регулювання (ремонт) РЕЕ повертаються до відповідного блоку засобів водного транспорту для подальшого використання за призначенням. Невідремонтовані РЕЕ залишаються в ремонтному підрозділі (накопичувачі) з обмеженою кількістю місць зберігання, де очікують відновлення (ремонт) та оцінки технічного стану.

На рисинку 4.2 наведено граф станів багатоканальної моделі $W(n, m)$ з n каналами оцінки технічного стану РЕА та з m місцями очікування в накопичувачі. Номери станів моделі означають наступне: 0 – всі канали обслуговування вільні; 1 – один канал зайнятий оцінкою технічного стану РЕА згідно заявки; n – все робочі канали зайняті обслуговуванням заявок; $n + 1$ – в накопичувачі знаходиться одна заявка в очікуванні відновлення (ремонт) несправної РЕА з подальшою оцінкою технічного стану; $n + m$ – в накопичувачі знаходиться m заявок в очікуванні відновлення (ремонт) несправної РЕА.

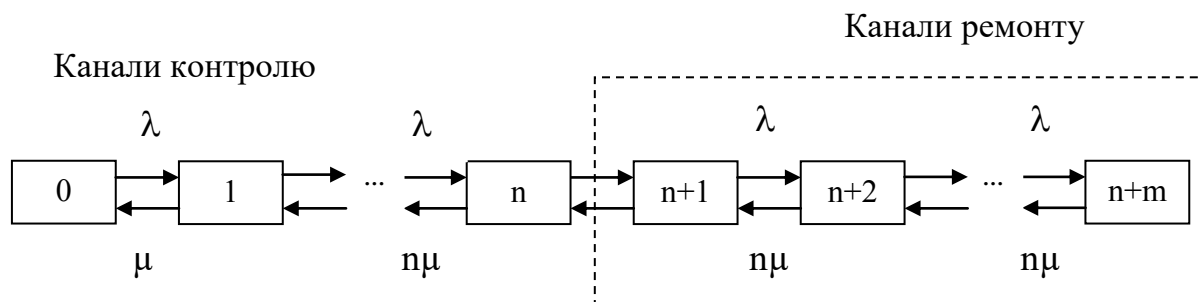


Рисунок 4.2 – Граф многоканальной модели обслуживания с накоплением

З використанням графа багатоканальної моделі обслуговування з накопичувачем (рис. 4.2) складемо систему диференціальних рівнянь, яка визначає динаміку ймовірностей станів моделі $P_k(t)$ [49]:

$$\begin{cases} \frac{dP_k}{dt} = -(\lambda + k\mu)P_k + \lambda P_{k-1} + (k+1)\mu P_{k+1}; & 0 \leq k \leq n; \\ \frac{dP_k}{dt} = -(\lambda + n\mu)P_k + \lambda P_{k-1} + n\mu P_{k+1}; & n \leq k \leq m, \end{cases} \quad (4.9)$$

де початкові умови: $t = 0; P_0(0) = 1; P_k(0) = 0; k = \overline{(1, n+m)}; \sum_{k=0}^{n+m} P_k(t) = 1;$

$$\mu(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq t \leq t_{\min}; \\ \beta / \bar{T}_B & \text{при } t > t_{\min}, \end{cases} \quad (4.10)$$

де t_{\min} – мінімальний час ремонту РЕЕ;

\bar{T}_B – середній час відновлення (ремонт) РЕЕ;

β – коефіцієнт форсування процесу ремонту РЕЕ, який залежить від умов проведення ремонту.

Для наближених розрахунків нестационарні потоки заявок і оцінки технічного стану РЕЕ усереднюються на деякому інтервалі часу T , який характеризує зовнішні умови функціонування моделі. Наприклад, таким інтервалом часу може бути обраний період технічного обслуговування засобів водного транспорту: плановий, позаплановий, за технічним станом. В цьому випадку в рівняннях (4.9) використовуються середні значення інтенсивності потоків заявок на обслуговування:

$$\lambda = \frac{1}{T} \int_0^T \lambda(t) dt; \quad \bar{\mu} = \frac{1}{T} \int_0^T \mu(t) dt, \quad (4.11)$$

а модель описує квазістаціонарний режим роботи КДА, для якого існує стаціонарне рішення системи рівнянь (4.9). Стаціонарні ймовірності станів моделі в цьому випадку визначаються відомими співвідношеннями [49]:

$$\bar{P}_k = \frac{\bar{\alpha}^k}{k!} \bar{P}_0; \quad 0 \leq k \leq n; \quad \bar{P}_k = \left(\frac{\bar{\alpha}}{n}\right)^{k-n} \bar{P}_n; \quad n \leq k \leq m, \quad (4.12)$$

де $\bar{P}_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\bar{\alpha}^k}{k!} + \frac{\bar{\alpha}^n}{n!} \sum_{k=1}^m \left(\frac{\bar{\alpha}}{n}\right)^k}$ – стаціонарна ймовірність вільного стану моделі;

$\bar{\alpha} = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{\mu}}$ – приведена середня інтенсивність потоку заявок.

Знаючи стаціонарні ймовірності станів моделі \bar{P}_k можна розрахувати показники ефективності багатоканальної моделі типу $W(n, m)$:

- ймовірність обслуговування заявки: $P_{\text{обсл}} = 1 - \bar{P}_{n+m}$;
- інтенсивність обслуговування заявок (абсолютна пропускна здатність моделі): $\bar{\lambda}_{\text{обсл}} = \bar{\lambda} P_{\text{обсл}}$;
- середня кількість зайнятих каналів: $\bar{n}_{\text{обсл}} = \alpha P_{\text{обсл}}$;
- ймовірність зайнятості одного каналу обслуговування: $\rho = \bar{n}/n$;
- ймовірність повної зайнятості моделі: $P_{\text{зайн}} = \sum_{k=1}^n \bar{P}_k$;
- середня кількість заявок у черзі: $\bar{m} = \sum_{k=1}^m k P_{n+k}$.

Ці співвідношення дозволяють моделювати процес оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту за допомогою КДА.

При оптимізації системи оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту має сенс порівняти ефективність роботи однієї багатоканальної КДА і декількох універсальних одноканальних зразків КДА.

Розглянемо ефективність одноканальних КДА, які здійснюють оцінку технічного стану різних РЕЕ засобів водного транспорту незалежно один від одного. Загальний потік заявок інтенсивності $\bar{\lambda}$ надходить на кожну одноканальний систему. У цьому випадку кожна КДА забезпечує обслуговування заявок з однаковою ймовірністю $P_{\text{обсл}}(1) = \frac{1}{1 + \bar{\alpha}}$. Ймовірність обслуговування заявки n незалежними каналами становить:

$$P_{\text{обсл}}(n) = 1 - [1 - P_{\text{обсл}}(1)]^n = 1 - \left(\frac{\bar{\alpha}}{1 + \bar{\alpha}} \right)^n. \quad (4.13)$$

Ймовірність обслуговування такого ж потоку заявок однієї багатоканальної системою з n каналами обслуговування становить:

$$P_{\text{обсл}}(n) = \frac{\frac{\bar{\alpha}^n}{n!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\bar{\alpha}^k}{k!}}. \quad (4.14)$$

Після виконання розрахунків ймовірності обслуговування для різних n , можна побачити, що багатоканальна модель забезпечує більш високу ефективність. Це досягається за рахунок того, що в багатоканальній КДА заявка отримує відмову тільки в разі зайнятості всіх каналів, в той час як в одноканальній КДА заявка отримує відмову при зайнятості тільки одного каналу. Саме можливість розподілу заявок по вільних каналах забезпечує ефект емерджентності, який реалізується в складній системі. Різниця між

ефективністю декількох одноканальних систем і однієї багатоканальної системи (з однаковою кількістю каналів) збільшується з ростом наведеної інтенсивності потоку заявок $\bar{\alpha}$.

Таким чином, створення багатоканальних КДА з точки зору ефективності оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту є найкращим. Однак багатоканальна КДА для свого функціонування вимагає більш складної інфраструктури, що неминуче призведе до збільшення її вартості та зниження параметрів її надійності.

Проведемо оптимізацію кількості каналів оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту та довжини черги при використанні КДА. З формул (4.11) і (4.12) безпосередньо видно, що ймовірність обслуговування заявок в моделі при фіксованій наведеної інтенсивності $\bar{\alpha} = \bar{\lambda}/\bar{\mu}$ залежить як від кількості каналів обслуговування, так і від довжини черги в накопичувачі:

$$P_{\text{обсл}}(n, m) = 1 - P_{n+m} = \frac{\frac{\bar{\alpha}^n}{n!} \left(\frac{\bar{\alpha}}{n}\right)^m}{\sum_{k=0}^n \frac{\bar{\alpha}^k}{k!} + \frac{\bar{\alpha}^n}{n!} \sum_{k=1}^m \left(\frac{\bar{\alpha}}{n}\right)^k}. \quad (4.15)$$

Зі збільшенням кількості каналів і місць очікування в накопичувачі ймовірність обслуговування заявок збільшується. Для досягнення необхідної ефективності обслуговування заявок в моделі необхідно, щоб кількість каналів n і кількість місць m в накопичувачі задовольняло умові:

$$P_{\text{обсл}}(n, m) \geq \hat{P}_{\text{обсл}}, \quad (4.16)$$

де $\hat{P}_{\text{обсл}}$ – необхідна ймовірність обслуговування заявок.

Таким чином, розроблена модель оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту за допомогою КДА описується виразами (4.9) – (4.16).

Розглянутий підхід до моделювання системи оцінки технічного стану дозволяє здійснити всебічну оцінку виробничих можливостей сил для контролю технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту за допомогою КДА, раціонально спланувати та організувати систему технічного обслуговування засобів водного транспорту.

При виникненні позаштатних ситуацій обсяг робіт з оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту за допомогою КДА зростає в рази і важко прогнозований. Для того, щоб негайно проводити оцінку РЕЕ та, при необхідності, відновлення несправної апаратури, необхідно мати на кожному засобі водного транспорту багатоканальну КДА для оцінки технічного стану всіх типів РЕЕ відповідного водного засобу. Але це не завжди доцільно, тому що потужності такої КДА можуть перевершувати потреби в обслуговуванні РЕЕ. Тому вигідно для обслуговування найбільш важливою РЕЕ (наприклад, систем навігації) засоби водного транспорту мати штатну одноканальну КДА на першому рівні обслуговування. Багатоканальну КДА доцільно розміщувати в стаціонарних умовах (в доках, на підприємствах) і використовувати за призначенням на другому рівні обслуговування. Обґрунтування оптимальної кількості одноканальної (перший рівень) і багатоканальної (другий рівень) КДА здійснюється з розрахунку оптимальної навантаження на апаратуру, щоб вона не простоювала даремно без роботи, але в той же час і не захлиналася в потоці заявок на обслуговування РЕЕ. Вирішити таку задачу пропонується за допомогою марківських процесів з очікуванням при обмеженій кількості обслуговуючих одиниць.

Для вирішення поставленого завдання необхідно мати певну кількість статистичних даних, до яких слід віднести:

- середню тривалість часу, необхідного для дефектації РЕЕ;
- середню тривалість проведення основних операцій технологічного процесу оцінки технічного стану РЕЕ;

– час, необхідний для виклику та прибуття спеціалізованих підрозділів до засобу водного транспорту (або час доставки РЕЕ до місця обслуговування);

– частота виходу з ладу або періодичність обслуговування РЕЕ.

Після статистичної обробки отриманих даних можна розрахувати основні параметри, що характеризують систему оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту.

До них відносяться:

– щільність потоку виходу з ладу РЕЕ (потоку заявок на обслуговування РЕЕ);

– середній час, який потрібен для прибуття спеціалізованих підрозділів до засобу водного транспорту.

Позначимо як n – кількість КДА з оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту, які розподілені серед водних засобів і спеціалізованих підрозділів. Оцінка технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту може проводитися за допомогою власної КДА (перший рівень обслуговування) або за допомогою багатоканальних КДА спеціалізованих підрозділів (другий рівень обслуговування) з добре організованим технологічним потоком.

В обох випадках час, необхідний для оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту, буде складатися по-різному. Вважаємо, що час обслуговування – випадкова величина з показовим законом розподілу з параметром ν :

$$\nu = 1/\bar{t}_{об}, \quad \bar{t}_{об} = \bar{t}_{под} + \bar{t}_{деф} + \bar{t}_{двиг} + \bar{t}_{разв} + \bar{t}_{свер} + \bar{t}_{рем}, \quad (4.17)$$

де $\bar{t}_{об}$ – середній загальний час процесу обслуговування РЕЕ;

$\bar{t}_{под}$ – середній час для підготовки КДА;

$\bar{t}_{деф}$ – середній час дефектації РЕЕ;

$\bar{t}_{\text{движ}}$ – середній час руху спеціалізованого підрозділу до місця оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту;

$\bar{t}_{\text{разв}}, \bar{t}_{\text{свер}}$ – середній час розгортання та згортання багатоканальної КДА;

$\bar{t}_{\text{рем}}$ – середній час відновлення (ремонту) несправної РЕЕ.

За аналогічним виразами можна визначити $\bar{t}_{\text{об}}$ для стаціонарних спеціалізованих підрозділів і підприємств промисловості.

Потік заявок на оцінку технічного стану РЕЕ обмежений кількістю засобів водного транспорту та приймається простою. Введемо наступні припущення:

- моменти початку оцінки технічного стану РЕЕ – події незалежні в непересічні проміжки часу;

- необхідність оцінки технічного стану РЕЕ не залежить від того, скільки апаратури вже раніше пройшло обслуговування (особливо при виникненні нештатних ситуацій);

- кількість заявок на оцінку технічного стану РЕЕ залежить від щільності, тобто, від середньої очікуваної кількості заявок в одиницю часу λ .

Припустимо, що при наявності заявки на оцінку технічного стану, багатоканальна КДА відразу вступає в роботу.

Модель системи оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту представимо як багатоканальну модель з обмеженою кількістю каналів і накопичувачем заявок. Використання моделі можливо для марковських випадкових процесів, тобто таких процесів, в яких імовірність переходу системи в новий стан залежить тільки від стану системи зараз і не залежить від того, коли і яким чином система перейшла в цей стан.

Для проведення кількісної оцінки такої моделі можна використовувати наступні залежності.

1. Імовірність того, що всі спеціалізовані підрозділи (багатоканальні КДА) вільні від оцінки технічного стану:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^n \frac{m\alpha^i}{i!(m-i)!} + \sum_{i=n+1}^m \frac{m!\alpha^i}{n^{i-n}n!(m-i)!}}, \quad (4.18)$$

де $\alpha = \lambda/\nu$, $\nu = 1/t_{об}$; λ – параметр потоку надходження заявок на оцінки технічного стану РЕЕ;

m – кількість РЕЕ в складі засобів водного транспорту;

n – кількість каналів КДА.

2. Імовірність того, що для оцінки технічного стану РЕЕ задіяна кількість i КДА:

$$P_i = \frac{m!\alpha^i P_0}{n!(m-i)!} \quad \text{при } 1 < i \leq n. \quad (4.19)$$

3. Та ж ймовірність, при необхідності, відновлення несправної РЕЕ $i > n$:

$$P_i = \frac{m!\alpha^i P_0}{n^{i-n}n!(m-i)!}. \quad (4.20)$$

4. Імовірність того, що всі канали КДА і все одно каналні КДА зайняті або ймовірність відмови в негайної оцінки технічного стану РЕЕ:

$$P_n = \frac{m!\alpha^n P_0}{n!(m-n)!}. \quad (4.21)$$

5. Кількість РЕЕ засобів водного транспорту, які проходять оцінку технічного стану або очікують відновлення:

$$M_1 = \left[\sum_{i=1}^n \frac{m\alpha^i}{(i-1)!(m-i)!} + \sum_{i=n+1}^m \frac{im!\alpha^i}{n^{i-n}n!(m-i)!} \right] P_0. \quad (4.22)$$

6. Кількість РЕЕ, які очікують оцінку технічного стану або відновлення (середня довжина черги) через зайнятість КДА:

$$M_2 = \sum_{i=n+1}^m \frac{(i-n)m!\alpha^i}{n^{i-n}n!(m-i)!} P_0. \quad (4.23)$$

7. Відсоток РЕЕ, які очікують оцінку технічного стану або відновлення:

$$K_1 = \frac{M_2}{m} 100\% = \sum_{i=n+1}^m \frac{(i-n)(m-1)!\alpha^i}{n^{i-n}n!(m-i)!} P_0 100\%. \quad (4.24)$$

8. Кількість вільних від оцінки технічного стану або відновлення РЕЕ каналів КДА і одноканальних КДА:

$$M_3 = \sum_{i=0}^n \frac{(n-i)m!\alpha^i}{i!(m-i)!} P_0. \quad (4.25)$$

9. Відсоток простою КДА:

$$K_2 = \frac{M_3}{n} 100\% = \left[\sum_{i=0}^{n-1} P_i - \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} iP_i \right] 100\%. \quad (4.26)$$

Розроблена модель оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту може бути використана для обґрунтування застосування певного типу КДА. Для прикладу використання моделі вирішимо наступні завдання.

Припустимо, що є три одноканальні КДА ($n = 3$) для оцінки технічного стану 10 різних зразків РЕЕ ($m = 10$). При здійсненні маршруту руху засобом водного транспорту в складних погодних умовах в середньому один раз на місяць кожен з зразків РЕЕ буде пошкоджений ($\lambda = 1$). Для застосування КДА з оцінки технічного стану РЕЕ в середньому потрібно шість днів, тобто $\nu = 5$. Необхідно визначити основні характеристики системи оцінки технічного стану РЕА. Визначимо ймовірність того, що всі КДА вільні від оцінки технічного стану, розрахуємо $\alpha = \lambda/\nu = 0,2$.

З формули (4.18) випливає, що ймовірність того, що всі КДА будуть вільні від оцінки технічного стану, дорівнює $P_0 = 0,155$. Це означає, що до 5 днів на місяць КДА будуть не завантажені. Однак це не означає, що не буде «черги» РЕЕ, що вимагають оцінки технічного стану. Довжина такої черги, звичайно, в різні періоди може бути різною, але в середньому кількість РЕЕ, які очікують оцінки технічного стану, так само, згідно співвідношення (4.23), $M_2 = 0,16$ зразків.

Звідси знаходимо відсоток РЕЕ, очікує оцінки технічного стану:

$$K_1 = \frac{M_2}{m} 100\% = 1,6\%.$$

Кількість вільних від оцінки технічного стану КДА дорівнює $M_3 = 1,36$, а коефіцієнт простою дорівнює:

$$K_2 = \frac{M_3}{n} 100\% = \frac{1,36}{3} 100\% = 46\%.$$

Визначимо кількість РЕЕ, які або перебувають на обслуговуванні (оцінка технічного стану або очікування відновлення), тобто кількість невикористаної РЕЕ: $M_1 = 1,79$ зразків.

Звідси відсоток невикористаної РЕЕ дорівнює:

$$K_3 = \frac{M_1}{m} 100\% = 17,9\%.$$

Це відносно високий відсоток невикористаної РЕЕ, і визначається він в основному часом перебування РЕЕ на обслуговуванні (відсоток РЕЕ, які очікують оцінку технічного стану, невеликий: $i = 1,6\%$).

Розглянемо іншу задачу для тих же умов, але при іншій організації оцінки технічного стану РЕЕ. Замість трьох одноканальних КДА для оцінки технічного стану розглянемо одну багатоканальну КДА з трьома добре організованими технологічними потоками. Але, в цьому випадку, середній час доставки багатоканальної КДА до несправної РЕЕ в кілька разів більше, ніж при застосуванні штатної одноканальній КДА. Але, не дивлячись на зменшення часу власне оцінки технічного стану РЕЕ, загальний час перебування РЕА в процесі оцінки технічного стану збільшується в 2,5 рази. тоді $\nu = 2$ зразка / місяць, $\alpha = 0,5$.

З розрахунків згідно формул (4.18) – (4.26) і таблиці 4.1 можна побачити, що в зв'язку із загальним зниженням пропускну здатності КДА різко збільшилася їх завантаження при незмінній щільності надходження заявок на оцінку технічного стану РЕЕ: ймовірність простою без оцінки технічного стану всіх КДА (технологічних потоків в КДА) P_0 зменшилася в 16 разів, кількість вільних від обслуговування КДА M_3 – зменшилася більш ніж в 5 разів. Але при цьому різко збільшилася середня кількість невикористаних РЕЕ з $K_1 = 17,9\%$ до $K_1 = 44\%$.

При виникненні аварій (катастроф) різко зростає інтенсивність пошкоджень РЕЕ. Стосовно до випадку обслуговування засобів водного транспорту покладемо, що потік РЕЕ для оцінки технічного стану збільшився в 5 разів. Порівняльні результати наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків за першою задачею

	P_0	M_2	$K_2, \%$	M_3	$K_3, \%$	M_1	$K_1, \%$
Одноканальна КДА	0,155	0,16	1,6	1,36	46	1,79	17,9
Багатоканальна КДА	0,01	0,051	17,4	0,25	25	4,4	44

Таблиця 4.2 – Результати розрахунків за другою задачею

Значення λ	P_0	M_2	$K_2, \%$	M_3	$K_3, \%$	M_1	$K_1, \%$
$\lambda = 0,2$	0,155	0,16	1,6	1,36	46	1,79	17,9
$\lambda = 1$	0,005	4,02	40,2	0,12	0,4	7,0	70

З аналізу даних таблиці 4.2 видно, що різко збільшилася завантаження КДА. Відсоток невикористаних РЕЕ різко збільшиться – з 18% до 70%. Тому можна зробити висновок, що в останньому випадку наявної кількості КДА явно недостатньо для оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту.

Таким чином, розробленою моделлю можна скористатися для моделювання системи оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту за допомогою різних типів КДА (одноканальних і багатоканальних). При цьому моделювання дозволяє оцінити вплив на пропускну здатність КДА напрямків вдосконалення технології оцінки технічного стану РЕЕ (зменшення часу дефектації, тривалості проведення основних операцій технологічного процесу оцінки), часу руху спеціальних підрозділів до місця технічного обслуговування засоби водного транспорту, часу розгортання і згортання КДА і інших чинників. На підставі різних критеріїв оптимізації можна знайти раціональну систему оцінки технічного стану РЕЕ засобів водного транспорту, визначити доцільність (раціональне, оптимальне) кількість різних типів КДА і ефективність запровадження нових методів оцінки.

4.4 Оцінка ефективності застосування запропонованих методів і моделей

Для оцінки ефективності застосування отриманих результатів розрахуємо основні показники ефективності контролю технічного стану за допомогою уніфікованої КДА та порівняємо їх з аналогічними, отриманими іншими авторами [64], [68], [144].

Основним показником ефективності контролю технічного стану складних комплексів є достовірність D , яка залежить [34], [46], [56]:

- імовірність помилок контролю першого α і другого β роду;
- безумовної ймовірності того, що працездатний зразок (об'єкт контролю) визнається непрацездатним (хибна відмова), а зразок (об'єкт контролю), що відмовив, – працездатним (невиявлена відмова), позначимо їх $P_{хв}$, $P_{нв}$ відповідно.

Тоді імовірність прийняття правильного рішення при контролі (достовірність проведення контролю) визначається за формулою:

$$D = D_M \cdot D_i = 1 - P_{хв} - P_{нв} = 1 - \alpha P_{ок} - \beta(1 - P_{ок}), \quad (4.27)$$

де D_M, D_i – методична та інструментальна достовірність контролю об'єкта відповідно;

$P_{ок}$ – імовірність безвідмовної роботи об'єкта контролю.

З врахуванням повноти контролю (відношення параметрів n , які контролюються, від загальної кількості параметрів контролю об'єкта N) запишемо вираз (4.27) так:

$$D = 1 - \alpha \prod_{i=1}^n P_{окi} \cdot \prod_{i=n+1}^N P_{окi} - \beta \left(1 - \prod_{i=1}^n P_{окi} \cdot \prod_{i=n+1}^N P_{окi} \right) \quad (4.28)$$

де $P_{оки}$ – імовірність безвідмовної роботи i -го блоку (елементу) об'єкта контролю.

За допомогою співвідношення (4.28), використовуючи дані таблиці В1 додатку В отримані залежності для існуючого методи синтезу характеристик КДА [68]; запропонованого методу синтезу характеристик КДА на базі моделі функціонування складових апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту; запропонованого методу синтезу характеристик КДА із комплексним застосуванням результатів (рис. 4.3).

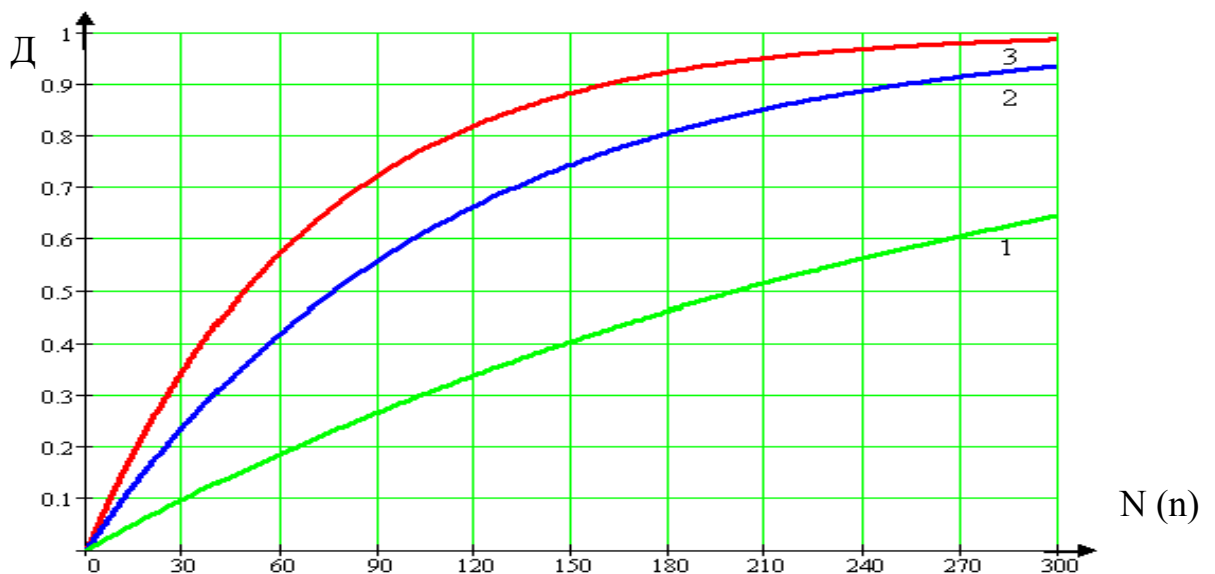


Рисунок 4.3 – Графік залежності достовірності D контролю засобів водного транспорту від кількості параметрів контролю $N(n)$:

- (1) Існуючі методи синтезу характеристик КДА;
- (2) Запропонований метод синтезу характеристик КДА на базі моделі функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту;
- (3) Запропонований метод синтезу характеристик КДА із комплексним застосуванням результатів

Аналіз залежностей (рис. 4.3) показують, що при кількості параметрів контролю $n = N$ достовірність контролю досягає свого максимального значення. При цьому достовірність прагне 1. Але із-за помилок першого та другого роду достовірність контролю не досягає 1. Наприклад, при $n = 210$, достовірність контролю за методом 3 досягає рівня 0,95. За методом 2 достовірність контролю складає 0,85. За існуючим методом 1 достовірність контролю складає 0,52. Таким чином, розроблені методи та моделі синтезу уніфікованої контрольної-діагностичної апаратури дозволяють підвищити достовірність контролю технічного стану з рівня 0,52 до рівня 0,85...0,95 залежно від комплексності їх застосування становить від 24% до 40%.

Зменшення кількості параметрів контролю зменшує час на проведення контролю технічного стану. Отже, застосування запропонованих результатів призводить до зменшення часу до 30%.

Комплексне використання отриманих результатів щодо синтезу параметрів уніфікованої КДА полягає в наступному. Оснащення (комплектування) засобів водного транспорту уніфікованою КДА на основі цифрових засобів вимірювання, які мають канал загального користування, або КВС із шиною передачі даних за своєю універсальністю та технічними показниками здатне вплинути на загальні характеристики експлуатації таких засобів, потребують формування (уточнення) обґрунтованих вимог щодо складу та технічних характеристик засобів, що розробляється (модернізуються).

При проведенні розрахунків за допомогою розробленого методу вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту, згідно співвідношення (2.15), загальні витрати на функціонування системи контролю технічного стану визначалися, як віднесені до витрат існуючої структури.

Як впливає із залежності вартості контролю технічного стану засобів водного транспорту від кількості каналів уніфікованої КДА для різних

варіантів структури системи технічного обслуговування засобів водного транспорту (існуюча система контролю – 1; мобільна існуюча система контролю – 2; застосування автоматизованих засобів контролю – 3; застосування інформаційно-вимірювальних комплексів – 4; застосування уніфікованої КДА – 5) (рис. 4.4), яка має багатокритеріальний вигляд, що дозволяє зробити висновок про її нерегулярність. У той же час, спостерігається тенденція зі зменшення значення функції цілі при збільшенні кількості каналів уніфікованої КДА залежно від складових блоків (елементів) засобів водного транспорту, наприклад, РЕЕ, що підлягають контролю. Це свідчить про доцільність запропонованої структури системи контролю технічного стану засобів водного транспорту із застосуванням уніфікованої КДА. Це пояснюється зменшенням витрат на організацію необхідної кількості робочих місць, транспортування несправних складових засобів водного транспорту на значні відстані (1000 км і більш).

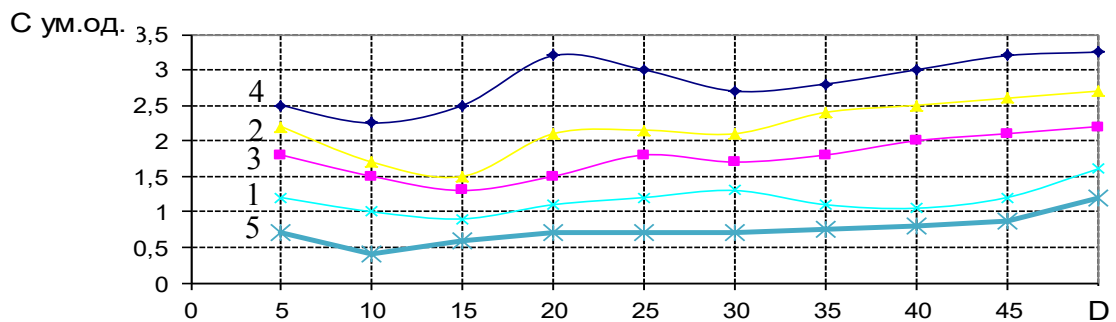


Рисунок 4.4 – Залежність вартості контролю технічного стану засобів водного транспорту від кількості каналів уніфікованої КДА

Аналіз розрахунків загальних показників оперативності, достовірності контролю та приведеної вартості для різних варіантів структури системи технічного обслуговування засобів водного транспорту (існуюча система контролю; мобільна існуюча система контролю; застосування автоматизованих засобів контролю; застосування інформаційно-вимірювальних комплексів; застосування уніфікованої КДА) наведено у

таблиці 4.3. Дані таблиці 4.3 показують, що найбільш доцільною є запропонована структура її побудови. У цьому випадку досягається зменшення витрат на забезпечення функціонування системи технічного обслуговування засобів водного транспорту за окремими показниками у 3 рази порівняно з існуючою системою контролю без використання КДА.

Дані таблиці 4.3 показують, що економія коштів від застосування запропонованої КДА становить 18% порівняно з існуючою системою контролю технічного стану засобів водного транспорту. Запропонована уніфікована КДА не гірша за основними показниками контролю технічного стану закордонних аналогів, але значно дешевше у виготовленні та експлуатації. Економія коштів при аналогічних показниках ефективності технічного обслуговування засобів водного транспорту при експлуатації становить більше 300%.

Таблиця 4.3 – Показники системи контролю технічного обслуговування засобів водного транспорту при різній структурній побудові

Структура системи контролю засобів водного транспорту	Показники системи				Вартість, ум. од.
	Оперативність		Достовірність контролю		
	Вимоги	Розрахунок	Вимоги	Розрахунок	
Існуюча система контролю	0,7	0,65	0,8	0,7	1,00
Мобільна існуюча система контролю	0,8	0,75	0,8	0,7	2,14
Застосування автоматизованих засобів контролю	0,9	0,82	0,9	0,85	1,26
Застосування інформаційно-вимірювальних комплексів	0,9	0,93	0,95	0,97	3,33
Застосування уніфікованої КДА	0,9	0,92	0,95	0,96	0,82

Висновки по розділу 4

1. Розроблено метод оптимального синтезу параметрів уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури. В основі методу задача оптимального синтезу характеристик контрольно-діагностичної апаратури, яка полягає в мінімізації сумарної похибки вимірювання параметрів контролю засобів водного транспорту при додаткових обмеженнях, що накладаються на модель пристрою аналогово-цифрової обробки сигналів і сигнали, що піддаються обробці.

2. Обґрунтовано особливості тестування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури, до яких належить: для контролю технічного стану традиційні засобів контролю (вольтметри, частотоміри, осцилографи тощо) будуть мало придатними або зовсім непридатними, тому необхідно застосування сучасних методів та засобів тестування та самоконтролю (самодіагностики); методи тестування та самоконтролю (самодіагностики) повинні забезпечувати можливість визначення в автоматичному (автоматизованому, діалоговому) режимі місця знаходження відмов (несправностей) з глибиною до типового елемента заміни (окремого апаратного або програмного модуля); найбільш доцільним для використання під час проектування є метод повністю автономного тестування, який розрахований на тестування контрольно-діагностичної апаратури при експлуатації без додаткових засобів.

3. Удосконалено модель оцінки технічного стану складових блоків (елементів) засобів водного транспорту на прикладі радіоелектронних елементів. Розроблену модель пропонується використовувати для моделювання системи оцінки технічного стану складових блоків (елементів) засобів водного транспорту за допомогою різних типів контрольно-діагностичної апаратури, наприклад, одноканальних і багатоканальних. При цьому моделювання дозволяє оцінити вплив на пропускну здатність

контрольно-діагностичної апаратури, напрямків вдосконалення технології оцінки технічного стану засов водного транспорту (зменшення часу дефектації, тривалості проведення основних операцій технологічного процесу оцінки), часу руху спеціальних підрозділів до місця технічного обслуговування засоби водного транспорту, часу розгортання та згортання контрольно-діагностичної апаратури і інших чинників.

4. Результати імітаційного моделювання отриманих результатів показали, що застосування запропонованих методів і моделей синтезу уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури при технічному обслуговуванні дозволяють підвищити достовірність контролю технічного стану з існуючого рівня 0,52 до рівня 0,85...0,95 залежно від комплексності їх застосування, підвищення достовірності становить від 24% до 40%.

Результати моделювання показали, що застосування запропонованих методів і моделей синтезу уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури призводить до зменшення часу контролю технічного стану засобів водного транспорту до 30%.

Запропонована уніфікована контрольно-діагностична апаратура не гірша за основними показниками ефективності контролю технічного стану (достовірності та оперативності) закордонних аналогів, але значно дешевше у виготовленні та експлуатації.

Основні результати розділу опубліковані [18], [19], [127], [128].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна науково-технічна задача розвитку методів і моделей побудови та функціонування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для комплексної оцінки технічного стану засобів водного транспорту.

Основні результати дисертаційної роботи полягають у наступному.

1. Проведений аналіз сучасного стану методів і засобів контролю технічного стану засобів водного транспорту та напрямків розвитку контрольно-діагностичної апаратури. Обґрунтовані часткові завдання дослідження та методи їх розв'язання. Доведено, що забезпечення безаварійної експлуатації засобів водного транспорту необхідна відповідна система контролю їх технічного стану, яка задовольняє визначеним показникам ефективності. При цьому слід орієнтуватися на сучасні зразки апаратури контролю – уніфіковану контрольно-діагностичну апаратуру на основі комп'ютерно-вимірювальних систем. Це підтверджує актуальність науково-технічної задачі дисертаційної роботи.

2. У дисертації наведене теоретичне узагальнення та нове розв'язання науково-технічної задачі, мета розв'язання якої полягає у підвищенні достовірності та оперативності оцінки технічного стану засобів водного транспорту на етапі експлуатації.

У рамках поставленої задачі вирішені часткові завдання: провести аналіз відомих методів і моделей синтезу засобів контролю для технічного обслуговування складних технічних комплексів, у тому числі засобів водного транспорту; обґрунтувати стратегії та умови застосування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для комплексної оцінки технічного стану засобів водного транспорту; удосконалити метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту; удосконалити

модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту; удосконалити модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури при врахуванні особливостей експлуатації засобів водного транспорту; удосконалити метод оцінки технічного стану складових блоків (елементів) засобів водного транспорту для оцінки ефективності системи технічного обслуговування засобів водного транспорту; розробити метод оцінки ефективності застосування запропонованої уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту; обґрунтувати показники ефективності застосування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту; провести дослідження розроблених методів і моделей синтезу уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури, перевірити їх на адекватність; розробити рекомендації щодо застосування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту на етапі експлуатації.

3. Найбільш важливі наукові та практичні результати, які отримані в роботі, є такі:

– отримав подальший розвиток метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту на основі запропонованої автоматизованої контрольно-діагностичної апаратури, який, на відміну від відомих, базується на комплексному обґрунтуванні раціональної організації технічного обслуговування засобів водного транспорту залежно від технічних характеристик контрольно-діагностичної апаратури;

– удосконалена модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту, яка відрізняється від відомих переходом від теоретико-множинного опису функціонування до графової моделі, що дозволяє спростити пошук варіантів синтезу складових апаратури та врахувати особливості експлуатації засобів водного транспорту;

– отримав подальший розвиток метод оцінки технічного стану радіоелектронних елементів засобів водного транспорту, який, на відміну від відомих, заснований на розробленій моделі багатоканальної уніфікованої автоматизованої контрольно-діагностичної апаратури на основі теорії масового обслуговування з обмеженою кількістю каналів і накопичувачем заявок та дозволяє оцінити ефективність системи технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Практичне значення отриманих у роботі результати полягає у тому, що розроблені метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту на основі запропонованої автоматизованої контрольно-діагностичної апаратури і метод оцінки технічного стану радіоелектронних елементів засобів водного транспорту, а також удосконалена модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту є основою для створення нового підходу до обґрунтування характеристик системи технічного обслуговування засобів водного транспорту з урахуванням особливостей їх експлуатації.

Результати імітаційного моделювання отриманих результатів показали, що застосування запропонованих методів і моделей синтезу уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури при технічному обслуговуванні дозволяють підвищити достовірність контролю технічного стану з існуючого рівня 0,52 до рівня 0,85...0,95 залежно від комплексності їх застосування, підвищення достовірності становить від 24% до 40%.

За рахунок застосування уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури при технічному обслуговуванні засобів водного транспорту відбувається зменшення параметрів контролю. Зменшення кількості параметрів контролю зменшує час на проведення контролю технічного стану. Результати моделювання показали, що застосування запропонованих методів і моделей синтезу уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури

призводить до зменшення часу контролю технічного стану засобів водного транспорту до 30%.

Економія коштів від застосування запропонованої контрольно-діагностичної апаратури становить 18% порівняно з існуючою системою контролю технічного стану засобів водного транспорту. Запропонована уніфікована контрольно-діагностична апаратура не гірша за основними показниками ефективності контролю технічного стану (достовірності та оперативності) закордонних аналогів, але значно дешевше у виготовленні та експлуатації. Економія коштів при аналогічних показниках ефективності технічного обслуговування засобів водного транспорту при експлуатації становить більше 300%.

4. Значення розв'язаної у дисертації задачі для науки та практики полягає в подальшому розвитку теоретичних та прикладних основ обґрунтування системи технічного контролю засобів водного транспорту.

5. Методи дослідження базуються на теорії системного аналізу, теорії складних систем, теорії ефективності, теорії імовірності, теорії графів, теорії інтегрального та диференціального числення, математичному апараті марківських випадкових процесів, методів імітаційного моделювання.

6. Достовірність і обґрунтованість отриманих наукових результатів підтверджується збігом деяких часткових результатів дисертації з відомими; коректним використанням адекватного математичного апарата для розв'язання часткових задач, поставлених у роботі. Основні теоретичні положення дисертаційної роботи базуються на початкових посилках і допущеннях, які виходять із існуючого стану робіт у даній області та не суперечать відомим положенням і результатам досліджень, приведеним у літературі.

7. Наукові та прикладні результати досліджень, отримані в дисертації, доцільно використовувати так.

Теоретичні результати можуть бути застосовані при створенні мобільної уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту, а також розповсюджені на інші транспортні засоби. Це дозволить скоротити витрати часу на проведення контролю технічного стану засобів водного транспорту та підвищити його достовірність його визначення.

Практичне значення отриманих у роботі результатів полягає у тому, що запропоновані методи і моделі синтезу уніфікованої контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту. Комплексне використання отриманих результатів дозволить обґрунтовувати рішення про прийняття в експлуатацію нових або модернізацію існуючих зразків контрольно-діагностичної апаратури. Крім того, запропоновані результати дозволяють перевіряти ефективність функціонування системи технічного обслуговування засобів водного транспорту при експлуатації.

Дисертаційна робота завершена, а її мета досягнута.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агеев В.М. Приборные комплексы летательных аппаратов и их проектирование / В.М. Агеев, Н.В. Павлова. – М.: Машиностроение, 1990. – 432 с.
2. Алексишин В.Г. Обеспечение навигационной безопасности плавания / В.Г. Алексишин, Л.А. Козырь, С.В. Симоненко. – Одесса: Феникс, 2009. – 518 с.
3. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2019 р. URL: http://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/analiz_2019/analiz_avariynosti_i_pivrichchya_2017.pdf.
4. Анучин О.Н. Интегрированные навигационные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов / О.Н. Анучин, Т.Н. Емельянцева. – С-Пб.: Государственный Научный Центр Российской Федерации, 1999. – 357 с.
5. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах / О.А. Бабич. – М.: Наука, 1991. – 512 с.
6. Байрашевский А.М. Судовая радиоэлектроника и радионавигационные приборы / А.М. Байрашевский, А.В. Жерлаков. – М.: Транспорт, 1988. – 271 с.
7. Бакулев П.А. Радионавигационные системы / П.А. Бакулев. – М.: Радиотехника, 2011. – 269 с.
8. Баранов Г.Л. Аналітична модель траєкторії електронного курсу транспортного засобу у зонах з підвищеним ризиком плавання / Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов // Системи управління, навігації та зв'язку. – К: ЦНДІНіУ. – 2007. – Вип. 4. – С. 11-14.
9. Баранов Г.Л. Аналітичний зв'язок навігаційних параметрів стану і сигналів адаптивного управління на програмних траєкторіях руху високошвидкісних транспортних засобів / Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов,

С.А. Банішевський // Системи управління, навігації та зв'язку. – К: ЦНДІНіУ. – 2008. – Вип. 3(7). – С. 19-23.

10. Баранов Г.Л. Функціональна стійкість навігаційного обслуговування безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах / Г.Л. Баранов, А.М. Носовський, І.В. Тихонов. – К.: КДАВТ, 2012. – 149 с.

11. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.

12. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 528 с.

13. Безюков О.К. Анализ энергоэкологического эффекта применения газопоршневых двигателей в судовых энергетических установках / О.К. Безюков, В.А. Жуков, К.А. Воробей // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С.О. Макарова. – 2015. № 6 (34). – С. 143-151. – DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-6-143-151.

14. Беляєвський Л.С. Глобальні супутникові системи навігації та зв'язку на транспорті / [Беляєвський Л.С., Ткаченко А.М., Левковець П.Р. та інші.]. – К.: В-во «Даж Бог», 2009. – 216 с.

15. Бень А.П. Методы оценки опасности траектории движения суден в системах поддержки принятия решений / А.П. Бень // Вестник ХНТУ: сб. науч. тр. Херсонского национального технического университета. – 2009. – Вып. 1 (34). – С. 429-433.

16. Богом'я В.І. Удосконалення системи експлуатації засобів водного транспорту в сучасних умовах / В.І. Богом'я, А.О. Трофіменко // Новітні технології. – 2018. – Вип. 1(5). – С. 99-110.

17. Богом'я В.І. Дослідження діяльності організаційно-технічної системи контролю приладів управління та навігації засобів водного транспорту / В.І. Богом'я, А.О. Трофіменко // Матеріали дев'ятої міжнар. наук.-техн. конф. «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління». – Баку – Харків – Жиліна. – 2019. – С. 89.

18. Богом'я В.І. Моделювання та дослідження діяльності організаційно-технічної системи контролю приладів управління та навігації засобів руху / В.І. Богом'я, А.О. Трофіменко // International scientific and practical conference «Application of information technologies in the preparation and operation of law enforcement forces». – Х.: НАНГУ. – 2019. – С. 17-18.

19. Богом'я В.І. Модель діяльності організаційно-технічної системи контролю приладів управління та навігації засобів руху / В.І. Богом'я, А.О. Трофіменко // 15 Міжнар. наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил «Новітні технології – для захисту повітряного простору». – Х.: ХНУПС. – 2019. – С. 322-323.

20. Большаков В.Ф. Эксплуатация судовых среднеоборотных дизелей / В.Ф. Большаков, Ю.Я. Фомин, В.И. Павленко. – М.: Транспорт, 1983. – 160 с.

21. Буравлев А.И. Управление техническим состоянием динамических систем / А.И. Буравлев, Б.И. Доценко, И.Е. Казаков; под общ. ред. И.Е. Казакова. – М.: Машиностроение, 1995. – 240 с.

22. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.

23. Бутенко В.В. Проблемы совместного функционирования радиоэлектронных систем космического и наземного базирования / В.В. Бутенко. – М.: СИП РИА, 2004. – 384 с.

24. Быков В.И. Судовые радионавигационные системы / В.И. Быков, Ю.И. Никитенко, Ю.М. Устинов. – М.: Изд. Транспорт, 1992. – 336 с.

25. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Феникс, 2007. – 376 с.

26. Варжапетян А.Г. Системы управления / А.Г. Варжапетян, Д.В. Глущенко. – М.: Вузовская книга, 2000. – 328 с.

27. Величко О.М. Основи метрології та метрологічна діяльність / О.М. Величко, А.М. Коцюба, В.М. Новиков. – К: Техніка, 2000. – 228 с.

28. Винокуров В.И. Электрорадиоизмерения / В.И. Винокуров, С.И. Каплин, И.Г. Петелин; под ред. В.И. Винокурова. – М.: Высш. шк., 1986. – 351 с.

29. Вихров Н.М. Управление и оптимизация производственно-технологическими процессами / [Вихров Н.М., Гаскаров Д.В., Грищенко А.А., Шнуренко А.А.]; под ред. Гаскарова Д.В. – С-Пб.: Изд. Энергоатомиздат, 1995. – 301 с.

30. Воробей В.И. Судовые навигационные радиолокационные станции / В.И. Воробей, В.В. Доронин, Р.А. Роднянский. – К.: КГАВТ, 2005. – 76 с.

31. Гаранов М.Ю. Технология интегрирования оборудования рулевой рубки скоростных судов / М.Ю. Гаранов, Ю.Н. Шепета, А.Е. Лебедев // Морские ИУС. – 2014. – № 1 (4). – С. 112-115.

32. Гаскаров Д.В. Сетевые модели распределенных автоматизированных систем / Д.В. Гаскаров, Е.П. Истомина, О.И. Кутузов. – С-Пб.: Энергоатомиздат, 1998. – 353 с.

33. Герасимов Б.М. Системи підтримки прийняття рішень: проектування, застосування, оцінка ефективності. / Б.М. Герасимов, М.М. Дивизинюк, І.Ю. Субач // Севастополь: Изд. Центр СНИЯЭ и П, 2004. – 318 с.

34. Герасимов С.В. Метрологічна надійність засобів вимірювальної техніки: навчальн. посіб. / С.В. Герасимов, В.Є. Козлов, Ю.П. Шамаєв. – Х.: ХВУ, 2006. – 175 с.

35. Герасимов С.В. Методика обґрунтування номенклатури параметрів контролю радіотехнічних систем і призначення їх допустимих відхилень / С.В. Герасимов, В.В. Грідіна // Системи обробки інформації. – 2018. – Вип. 2 (153). – С. 159-164.

36. Герасимов С.В. Метод адаптивної обробки навігаційної інформації в умовах невизначеності / С.В. Герасимов, Д.В. Макачук, О.І. Костенко //

Системи обробки інформації. – 2018. – Вип. 3 (154). – С. 19-25. – DOI: 10.30748/soi.2018.154.03.

37. Герасимов С.В. Особливості визначення точності вимірювань інерціальних приладів визначення координат / С.В. Герасимов, О.В. Коломійцев, В.В. Пустоваров // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – Випуск 6 (52). – С. 3-8. – DOI: 10.26906/SUNZ.2018.6.003.

38. Герасимов С.В. Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикання / С.В. Герасимов, М.Ю. Яковлев, О.А. Дакі // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2018. – № 79(2). – С. 73-76. – DOI: <https://doi.org/10.23939/istcm2018/02/073>.

39. Глущенко П.В. Техническая диагностика: моделирование в диагностировании и прогнозировании состояния технических объектов / П.В. Глущенко. – М.: Вузовская книга, 2004. – 162 с.

40. Голиков В.В. Методологические основы гарантированной безопасности судоходства / В.В. Голиков // Материалы науч.-методич. конференции. – Одесса, 2014. – С. 162-167.

41. Гордеев О.И. Оценка напряженности управления судном на различных участках рек / О.И. Гордеев. – М., 1996. – 261 с.

42. Горошко К.О. Оцінка сучасного стану та перспективні шляхи розвитку внутрішнього водного транспорту України / К.О. Горошко // Зб. наук. праць ДЕТУТ. Сер. «Економіка і управління». – К.: ДЕТУТ, 2013. – Вип 26. – С. 169-173.

43. Гришин Ю.П. Радиотехнические системы / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов; под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Академия, 2008. – 590 с.

44. Дакі О.А. Аналіз методів формування вимірювальних сигналів для контролю систем навігації / О.А. Дакі, В.В. Штрибець, А.О. Трофіменко // Наукоємні технології. – 2019. – № 1 (41). – С. 88-94. – DOI: 10.18372/2310-5461.41.13534.

45. Дакі О.А. Обґрунтування принципів побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту / О.А. Дакі, А.О. Трофіменко // Інформаційна безпека та інформаційні технології: Міжн. наук.-практ. конф. – Х., ХНЕУ. – 2019. – С. 5.
46. Данилов А.А. Метрологическое обеспечение измерительных систем / А.А. Данилов. – Пенза: Профессионал, 2008. – 63 с.
47. Дахнович А.А. Радиотехнические цепи и сигналы / А.А. Дахнович. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 176 с.
48. Демиденко П.П. Судовые радиолокационные и радионавигационные системы / П.П. Демиденко. – Одесса: ОНМА, 2008. – 334 с.
49. Демидович Б.П. Краткий курс высшей математики / Б.П. Демидович, В.А. Кудрявцев. – М.: Астрель, 2001. – 655 с.
50. Дмитриев А.К. Основы теории построения и контроля сложных систем / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
51. Дмитриев В.И. Судовождение на уровне управления / В.И. Дмитриев. – СГТГУВК, 2008. – 330 с.
52. Довбня В.Г. Помехоустойчивость радиоприёмных систем цифровых линий связи / В.Г. Довбня, В.Е. Азиатцев, С.Н. Михайлов. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2017. – 175 с.
53. Доронин В.В. Радионавигационные приборы и системы / В.В. Доронин. – К: КГАВТ, 2006. – 472 с.
54. Доценко Б.И. Диагностирование динамических систем / Б.И. Доценко. – К.: Техніка, 1983. – 159 с.
55. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану: Терміни та визначення. Чинний з 01.01.1995. – К.: Держстандарт України, 1994. – 24 с.
56. ДСТУ 2681 – 94. Метрологія. Терміни та визначення. – Чинний з 01.01.95. – К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с.

57. Егоров Г.В. Проектирование и постройка коастров и судов смешанного плавания / Г.В. Егоров. – Одесса: Изд. Н. Дубров, 2008. – 128 с.
58. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска / Г.В. Егоров. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
59. Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления / Под редакцией Н.Д. Егупова. – Том 3. Методы современной теории автоматического управления. – М.: Изд. МГТУ, 2000. – 748 с.
60. Закон України «Про транспорт» від 28.12.2015 р. №233/94-ВР URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/232/94-вр>.
61. Железный Г.М. Судоводителям: Опыт и знание. Практическое пособие / Железный Г.М., Задорожный А.И., Щербак В.Н. – Одесса: Изд-во КП ОГТ, 2008. – 522 с.
62. Железный Г.М. Судоводителям. Практическое пособие / Железный Г.М., Задорожный А.И. – Одесса: Изд-во КП ОГП, 2004. – 436 с.
63. Інформаційна безпека та інформаційні технології: монографія / За заг. ред. В.С. Пономаренка. – Х.: Вид. Рожко С.Г. – 2019. – 327 с. (п. 1.5. Принципи побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту / Дакі О.А., Трофіменко А.О. – С. 77-91).
64. Измерительные информационные системы / Под общей ред. Н.А. Рубичева. – М.: Дрофа, 2010. – 334 с.
65. Информационно-измерительная техника и электроника / Под ред. Г.Г. Раннева. – М.: Академия, 2006. – 512 с.
66. Измерения в электронике: справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.; под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.

67. Казаков И.Е. Аналитическое конструирование условно-оптимального управления в нелинейно-стохастической системе по сложному локальному критерию / И.Е. Казаков. – А и Т, 1995. – № 3. – С. 34-46.
68. Коломієць О.М. Моделі та методи автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації : дис... д-ра філософії: 271 / Коломієць Оксана Михайлівна. – К.: ДУІТ, 2020. – 167 с.
69. Коптев Д.С. Теория радиотехнических сигналов / Д.С. Коптев, И.Г. Бабанин, В.Г. Довбня. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2019. – 240 с.
70. Корнилов Э.В. Аварии и аварийные повреждения судовых дизелей / Э.В. Корнилов, П.В. Бойко. – Одесса: Феникс, 2010. – 272 с.
71. Красавский А.А. Теория самоорганизующегося оптимального регулятора биномиального типа в детерминировано-стохастическом приближении / А.А. Красовский. – А и Т, 1999. – № 5. – С. 97-113.
72. Крыштын Л.К. Техническая эксплуатация танкера / Л.К. Крыштын, О.И. Тимченко. – М.: Транспорт, 1980. – 206 с.
73. Культин Н. Программирование на Object Pascal в Delphi 5 / Н. Культин – С-Пб.: БХВ, 2000. – 464 с.
74. Кунцевич В.М. Управление и идентификация в условиях неопределенности: результаты и нерешенные проблемы / В.М. Кунцевич // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 5. – С. 34-46.
75. Ланчуковский В.И. Риск менеджмент судовой команды / В.И. Ланчуковский, А.А. Бондаренко // Автоматика 2008: Доповіді XV міжнародної конференції з автоматичного управління.– Одеса: ОНМА. – 2008. – С. 74-77.
76. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и Fuzzy ТЕСН / А.В. Леоненков. – С-Пб.: БХВ-Петербург, 2005. – 215 с.
77. Лесков М.М. Навигация / М.М. Лесков, Ю.К. Баранов, М.И. Гаврюк. – М.: Транспорт, 1986. – 360 с.

78. Лукомский Ю.А. Навигация и управление движением судов // Ю.А. Лукомский, В.Г. Пешехонов, Д.А. Скороходов. – СПб.: Элмор, 2002. – 360 с.

79. Лукомский Ю.А. Управление морскими подвижными объектами / Ю.А. Лукомский, В.М. Корчанов. – СПб.: Элмор, 1996. – 320 с.

80. Мальцев А.С. Управление движением судна / А.С. Мальцев. – Одесса: Весть, 1995. – 235 с.

81. Марченко А.Л. Основы преобразования информационных сигналов / А.Л. Марченко, Е.А. Марченко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 286 с.

82. Махутов Н.А. Диагностика и мониторинг состояния сложных технических систем / [Н.А. Махутов, В.Н. Пермяков, Р.С. Ахметханов и др.]. – Тюмень: ТИУ, 2017 – 632 с.

83. Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. – Т. IV-14. Двигатели внутреннего сгорания / В.Л. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др.; под общ. ред. А.А. Александрова и Н.А. Иващенко. – 2013. – 784 с.

84. Машков О.А. Методы построения функционально устойчивых сложных динамических систем / О.А. Машков // Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій: ISDMCI 2007. – Євпаторія. – 2007. – С. 184-186.

85. Машков О.А. Направления развития теории функционально-устойчивых сложных систем управления / Машков О.А., Усаченко Л.М. // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції ISDMCI 2009. – Херсон: ХНТУ. – 2009. – Том 1. – С. 79-86.

86. Машков О.А. Новые подходы к построению функционально устойчивых сложных динамических систем / О.А. Машков, Л.М. Усаченко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2008. – Вип. 4 (8). – С. 68-72.

87. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС. – С-Пб.: ЦНИИМФ, 2008. – 984 с.

88. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ), Книга III, пересмотренное издание – International Convention for Prevention of Pollution from Ships (MARPOL), Book III, revised edition. – СПб.: ЦНИИМФ, 2009. – 304 с.

89. Мелещенко Ю.С. Техніка й закономірності її розвитку / Ю.С. Мелещенко. – К.: Наука, 2005. – 176 с.

90. Мельник Г.В. Развитие двигателестроения за рубежом (по материалам конгресса СИМАС 2013) / Г.В. Мельник // Двигателестроение. – 2013. – № 3. – С. 39-53.

91. Министерство речного флота. Наставление по штурманской службе на судах Минречфлота. – Часть 3. – Ленинград: Транспорт, 1987. – 143 с.

92. Мирошник И.В. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами / И.В. Мирошник, А.Л. Никифоров, А.Л. Фрадков. – С-Пб.: Наука, 2000. – 549 с.

93. Морозов А.А. Ситуационные центры – основа стратегического управления / А.А. Морозов, В.А. Яценко // Математические машины и системы. – 2003. – № 1. – С. 3-14.

94. Морозов А.А. Построение сценариев развития событий – основа функционирования информации на аналитических системах типа ситуационные центры / А.А. Морозов, Г.Е. Кузьменко. – С-Пб., 2005. – С. 42-44.

95. Навігаційна річкова карта Канівського водосховища (від Київської ГЕС до Канівської ГЕС). – К.: ДУ «Держгідрографія», ТОВ «Друкарня «Літера», 2007. – 16 с.

96. Науменко А.П. Теория и методы мониторинга и диагностики / А.П. Науменко. – Омск: ОмГТУ, 2017. – 154 с.

97. Неймарк Ю.И. Простые математические модели и их роль в постижении мира / Неймарк Ю.И. // Сорровский образовательный журнал. – 1997. – № 3. – С. 139-143.

98. Никольский Б.А. Основы радиотехнических систем / Б.А. Никольский. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева, 2013. – 469 с.

99. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.В. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 245 с.

100. Основы автоматизации измерений / Под ред. В.Б. Коркина. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 253 с.

101. Охтилев М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. – М.: Наука, 2006. – 40 с.

102. Павленко М.А. Вибір раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту / М.А. Павленко, А.О. Трофименко // Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference «Problems of implementation of science into practice». – Oslo, Norway. – 2020. – Pp. 319-323.

103. Павленко М.А. Математична модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту / М.А. Павленко, А.О. Трофименко // Polish Journal of Science. – Vol. 1. – No. 30. – 2020. – P. 38-45.

104. Павленко М.А. Выбор рациональной системы технического обслуживания средств водного транспорта / М.А. Павленко, А. Трофименко // XIV Междун. науч.-техн. конференция «Проблемы водного транспорта» (XIV International scientific-technical conference on “Water transport problems”; Azərbaycan Xəzər Dəniz Gəmiçiliyi” QSC Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası). – Bakı. – 2019. – С. 9.

105. Петухов В.С. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока / В.С. Петухов, В.А. Соколов // Новости ЭлектроТехники. – 2005. – № 1 (31). – С. 50-52.
106. Поспелов Д.А. Ситуационное управление и практика / Д.А. Поспелов – М.: Наука. – 1986. – 288 с.
107. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений / Г.Е. Пухов. – К.: Наукова думка, 1980. – 419 с.
108. Пухов Г.Е. Дифференциальные спектры и модели / Г.Е. Пухов. – К.: Наукова думка, 1990. – 184 с.
109. Пухов Г.Е. Приближенные методы математического моделирования, основанные на применении дифференциальных Т-преобразований / Г.Е. Пухов. – К.: Наукова думка, 1988. – 216 с.
110. Пярнпуу А.А. Программирование на современных алгоритмических языках / А.А. Пярнпуу. – М.: Наука, 1990. – 384 с.
111. Ричард А. Кейхилл. Столкновения судов и их причины / Ричард А. Кейхилл; пер. с англ. – М: Транспорт, 1987. – 240 с.
112. Розвиток річкового транспорту у контексті реалізації євроінтеграційних планів України URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1763/> (дата звернення 12.12.2018).
113. Сборник резолюций Международной морской организации по вопросам судоходства. – М.: В/О Мортехинформреклама, 1989. – 68 с.
114. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2006. – 751 с.
115. Соловьёв А.В. Интеллектуальная система управления классификационной деятельностью на водном транспорте / А.В. Соловьёв // Речной транспорт (XXI век). – 2017. – № 84. – С. 40-42.
116. Соловьёв А.В. Концепция единого целеориентированного управления судовой энергетической установкой / А.В. Соловьёв // Вестн. гос.

ун-та мор. и реч. флота им. адм. С.О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – № 5. – С. 1027-1039.

117. Соловьев И. Морская радиоэлектроника / И. Соловьев. – СПб.: Политехника, 2003. – 185 с.

118. Солонина А.И. Основы цифровой обработки сигналов / А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов, Е.Б. Соловьева. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 753 с.

119. Справочник капитана дальнего плавания / [Аксютин Л.Р., Бондарь В.М., Ермолаев Г.Г. и др.; под ред. Г.Г. Ермолаева]. – М.: Транспорт, 1988. – 248 с.

120. Судходство и судостроение (статистика, экономика, цены). ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – Вып. 8 (35). – СПб, 2006. – 260 с.

121. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем / Л.Н. Александровская, В.И. Круглов, А.Г. Кузнецов и др. – М.: Логос, 2003. – 736 с.

122. Тихонов И.В. Прогнозирование параметров траектории движения объектов на внутренних водных путях / И.В. Тихонов // «Практичні проблеми розвитку радіозв'язку та радіонавігації в ГМЗЛБ, у системах АІС, СУКС і РІС». Матеріали VIII науково-практичної конференції 6-7 листопада 2007 року. – Одеса: ОНМА. – 2007. – С. 8-9.

123. Тихонов І.В. Удосконалення систем управління об'єктами водного транспорту з використання дискретних аналітичних моделей планової траєкторії руху / І.В. Тихонов // «Економіка і менеджмент на транспорті». Тези доповідей Міжнародного науково-практичного семінару. – К: КДАВТ. – 2008. – С. 73-74.

124. Тихонов И.В. Пособие судоводителя малотонажного судна / [Тихонов И.В., Корнилов Э.В., Корнилов Э.В. и др.]. – Одесса: Феникс, 2007. – 302 с.

125. Трофименко А.О. Особливості застосування контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту / А.О. Трофименко, В.С. Давидов, В.Л. Завітаєв // Наукоємні технології. – 2018. – № 4 (40). – С. 481-486. – DOI: 10.18372/2310-5461.40.13275.

126. Трофименко А.О. Модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою інформаційно-вимірювальної системи / А.О. Трофименко, О.Я. Костенко, С.М. Синицький, І.Г. Філіппов, В.А. Сінківський // Новітні технології. – 2019. – №2(9). – С. 62-69. – DOI: 10.31180/2524-0102/2019.2.09.07.

127. Трофименко А.О. Особливості синтезу контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту / А.О. Трофименко, А.М. Мазур // Збірник тез науково-практичної конференції студентів, аспірантів і викладачів Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУіТ. – 2019. – С. 70-71.

128. Трофименко А.О. Особливості синтезу контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту / А.О. Трофименко // Міжнародна науково-практична конференція «Водний транспорт: сучасний стан та перспективи розвитку»: тези доповідей. – К.: ДУіТ, 2019. – С. 387-388.

129. Трофименко А.О. Модель оцінки технічного стану інформаційно-вимірювальної системи / А.О. Трофименко // Тези доповідей сьомої міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми інформатизації”. – Черкаси: ЧДТУ, 2019. – Т. 3: секції 5-7. – С. 109.

130. Трофименко А.О. Оптимізація параметрів функції спектрального вікна фільтра для спектрального аналізу випадкових сигналів / А.О. Трофименко // Міжнародна наук.-техн. конференція «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ». – Львів: НАСВ. – 2019. – С. 271.

131. Трофименко А.О. Обґрунтування вимог до інформаційного забезпечення вимірювального-діагностичних комплексів / А.О. Трофименко // 16 Міжнар. наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил «Новітні технології – для захисту повітряного простору». – Х.: ХНУПС. – 2020. – С. 534.

132. Управління технічною експлуатацією флоту : конспект лекцій. URL: http://www.kma.ks.ua/ua/images/2_library/methodical/sud_energ/department/avtomatyka/utef/u1.pdf.

133. Чарльз Калверт. Delphi 5. Енциклопедія користувача / Чарльз Калверт. – Київ: Изд. ДіаСофт Лтд. – 1996. – 736 с.

134. Чинков В.М. Варіаційний метод і методики синтезу оптимального вимірювального сигналу для контролю технічного стану системи автоматичного управління / В.М. Чинков, С.В. Герасимов // Український метрологічний журнал. – 2014. – № 1. – С. 59-64.

135. Чиняев И.А. Судовые системы / И.А. Чиняев. – М.: Транспорт, 1984. – 216 с.

136. Шишкин В.А. Анализ неисправностей и предотвращение повреждений судовых дизелей / В.А. Шишкин. – М.: Транспорт, 1986. – 192 с.

137. Штрибець В.В. Методи спектрального аналізу випадкових сигналів для контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту / В.В. Штрибець, А.О. Трофименко // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції «Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку». – К.: ДУІТ, 2019. – С. 152-155.

138. Штрибець В.В. Розроблення фільтрових методів спектрального аналізу випадкових сигналів для контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту / В.В. Штрибець, А.О. Трофименко, А.П. Шевченко // Slovak international scientific journal. – Vol. 1. – No. 34. – 2019. – P. 30-38.

139. Barton D.K. Radar Equations for Modern Radar. – London: Artech House, 2012. – 264 p.

140. Coelli T. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis/ T. Coelli, D.S.Prasada Rao, G.E. Battese. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. – p. 275.

141. Decarbonising the maritime supply chain // MER. – 2010. – № 11. – P. 8.

142. Directive 2005/33/EC of the European Parliament and of the Council of 6 July 2005 amending Directive 1999/32/EC. – Official Journal of the European Union, 22.07.2005 EN L 191/59-69.

143. EPRI: «Improved Motors for Utility Applications and Improved Motors for Utility Applications, Industry Assessment Study», Vol 1, EPRI EL-2678, Vol 1 1763-1, final report and EPRI EL-2678, Vol 2, 1763-1 final report October 1982.

144. Herasimov S. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities / S. Herasimov, Yu. Shapran, M. Stakhova // Системи обробки інформації. – Х.: ХНУПС. – 2018. – Вип. 1 (152). – С. 148-154.

145. Iasechko M., Larin V., Ochkurenko O., Trystan A., Voichenko T., Trofymenko A., Sharabaiko O. Determining The Function Of Splitting The Charged Particles Of The Strongly Ionized Air Environment In The Openings Of The Case-Screens Of Radio Electronic Means // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – Vol. 8. – No. 1.3. – 2019. – P. 19-23. – DOI: 10.30534/ijatcse/2019/0481.32019.

146. IMO, SN/Circ. 213. – Guidance on Chart Datum and Accuracy of Positions on Charts. – 31 May, 2000.

147. International Electrotechnical commission (IEC). Technical committee № 65: Industrial Process Measurement and Control, Sub-Committee 65B.: Devices. IEC1131-Programmable Controllers. Part7 – Fuzzy control Programming Committee Draft Cd.1.0 (Rel.19.Jan.97).

148. ISO 9000:2005. Quality management systems – Fundamentals and Vocabulary. Third edition 2005-05-15.
149. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system / The Archives of Transport. – 2005. – No 3-4, Vol. XVII. – P. 133-147.
150. Ramakrishnan C.R., Sekar R. Model-Dased Analysis of Configuration Vulnerabilities – [электронный ресурс] – Режим доступа: [http://seclab.cs.sunisb.edu/sec lab1/pubs/papers/widsoo.pdf](http://seclab.cs.sunisb.edu/sec%20lab1/pubs/papers/widsoo.pdf).
151. Reform in the inland water transport: China's experience URL: <https://www.unescap.org/our-work/transport>.
152. Rybin Yu. Measuring Signal Generators. Theory and Design. – Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer; 2014. – 488 p.
153. Sustainable development of inland waterway transport in China (2009). Theme I of a World Bank Project: Comprehensive Transport System Analysis in China URL: [http://siteresources.world bank.org/EXTPRAL/Resources/china.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTPRAL/Resources/china.pdf).
154. Sheyner O., Wing J., Lippman R., Haines J. Automated Generation and Analysis of Attak Graphs // In 2002 IEEE Symposium on Security and Privacy. – Oaklend, California, 2002 – <http://csse.usc.edu>.
155. The Math Works – MATLAB and Simulink for Technical Computing // [электронный ресурс] – Режим доступа: [http http://www.mathworks.com](http://www.mathworks.com).
156. Training still fails to keep pace with complex control systems / MER, June 2006. – P. 20-23.

ДОДАТОК А

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
 ректор Державного університету
 інфраструктури та технологій
 д.т.н. професор В.В. Панін
 16 вересня 2020 року



АКТ № 19/18-а
 впровадження результатів дисертаційних досліджень
 Трофименко Анастасії Олегівни

Комісія у складі голови – декана факультету експлуатації технічних систем на водному транспорті, к.т.н., О.А.Сьоміна та членів – в.о.завідувача кафедри суднових енергетичних установок, допоміжних механізмів суден та їх експлуатації, к.т.н., к.е.н., доц. О.В.Мельник, д.т.н. професора кафедри О.І.Дубинця встановила, що результати наукових досліджень автора, а саме:

- метод вибору раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту на основі запропонованої автоматизованої контрольно-діагностичної апаратури, який дозволяє значно підвищити якість проведення технічного обслуговування;
- модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту, що дозволяє спростити пошук варіантів синтезу складових апаратури та врахувати особливості експлуатації засобів водного транспорту;
- метод оцінки технічного стану радіоелектронних елементів засобів водного транспорту, який дозволяє оцінити ефективність системи технічного обслуговування засобів водного транспорту,-

використовувались при створенні курсу лекцій з дисциплін «Сучасні автоматизовані інформаційні системи та технології в судноводінні та управлінні рухом судна», «Інформаційні системи технічного забезпечення суден», при підготовці бакалаврів та магістрів із судноводіння.

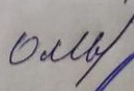
Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова:
к.т.н.



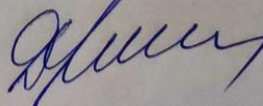
О.А. Сьомін

Члени:
к.т.н., к.е.н., доц.



О.В. Мельник

д.т.н., професор кафедри



О.І. Дубинець

ЗАТВЕРДЖУЮ

АКТ № 82/260/2

впровадження результатів дисертаційних досліджень Трофименко А.О.

Комісія у складі: голови – начальник служби безпеки судноплавства ТОВ «Червона Рута» Мартинчук Ігор Васильович та членів: капітан т/х «Принцеса Дніпра» Алексашин Володимир Олексійович, капітан т/х «Генерал Ватутін» Холоденко Віктор Степанович, встановила, що результати наукових досліджень автора, а саме:

надані автором науково-технічні рекомендації щодо підвищення якості експлуатації засобів водного транспорту, у тому числі удосконалена автором модель функціонування складових контрольної-діагностичної апаратури для контролю технічного стану засобів водного транспорту, яка відрізняється від відомих переходом від теоретико-множинного опису функціонування до графової моделі, що дозволяє спростити пошук варіантів синтезу складових апаратури та врахувати особливості експлуатації засобів водного транспорту;

розроблений автором метод оцінки технічного стану радіоелектронних елементів засобів водного транспорту, який, на відміну від відомих, заснований на розробленій моделі багатоканальної уніфікованої автоматизованої контрольної-діагностичної апаратури на основі теорії масового обслуговування з обмеженою кількістю каналів і накопичувачем заявок та дозволяє оцінити ефективність системи технічного обслуговування засобів водного транспорту

використовувались при виконанні контролю технічного стану (RIVEREST 3, MMSI: 272148700) та проведенні технічного обслуговування (SLAVUTICH-16, IMO: 8848783).

Застосування запропонованої моделі моделей синтезу уніфікованої контрольної-діагностичної апаратури при технічному обслуговуванні дозволяє підвищити достовірність контролю технічного стану до рівня 0,85...0,95 залежно від комплексності їх застосування, підвищення достовірності становить від 20% до 30%.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова: [Signature] Мартинчук І.В.

Члени: [Signature] Алексашин В.О.

[Signature] Холоденко В.С.

ДОДАТОК Б

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Основні наукові результати.

1.1. Богом'я В.І., Трофіменко А.О. Удосконалення системи експлуатації засобів водного транспорту в сучасних умовах // Новітні технології. – 2018. – Вип. 1 (5). – С. 99-110. DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.05 – *Фахове видання України*.

1.2. Трофіменко А.О., Давидов В.С., Завітаєв В.Л. Особливості застосування контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту // Наукоємні технології. – 2018. – № 4 (40). – С. 481-486. – DOI: 10.18372/2310-5461.40.13275. – *Фахове видання України*.

1.3. Дакі О.А., Штрибець В.В., Трофіменко А.О. Аналіз методів формування вимірювальних сигналів для контролю систем навігації // Наукоємні технології. – 2019. – № 1 (41). – С. 88-94. – DOI: 10.18372/2310-5461.41.13534. – *Фахове видання України*.

1.4. Iasechko M., Larin V., Ochkurenko O., Trystan A., Voichenko T., Trofymenko A., Sharabaiko O. Determining The Function Of Splitting The Charged Particles Of The Strongly Ionized Air Environment In The Openings Of The Case-Screens Of Radio Electronic Means // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – Vol. 8. – No. 1.3. – 2019. – P. 19-23. – DOI: 10.30534/ijatcse/2019/0481.32019. – *Наукометрична база Scopus*.

1.5. Трофименко А.О., Костенко О.Я., Синицький С.М., Філіппов І.Г., Сінківський В.А. Модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою інформаційно-вимірювальної системи // Новітні технології. – 2019. – № 2 (9). – С. 62-69. – DOI: 10.31180/2524-0102/2019.2.09.07. – *Фахове видання України*.

1.6. Павленко М.А., Трофименко А.О. Математична модель функціонування складових контрольно-діагностичної апаратури для

контролю технічного стану засобів водного транспорту // Polish Journal of Science. – Vol. 1. – No. 30. – 2020. – P. 38-45. – *Журнал країни ЄС.*

1.7. Інформаційна безпека та інформаційні технології: монографія / За заг. ред. В.С. Пономаренка. – Х.: Вид. Рожко С.Г. – 2019. – 327 с. (п. 1.5. Принципи побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту / Дакі О.А., Трофименко А.О. – С. 77-91). <https://publons.com/journal/430038/-2019> – *Розділ монографії.*

1.8. Тимощук О.М., Бойко С.О., Трофименко А.О. Формалізація процесу технічної експлуатації елементів інтегрованої навігаційної системи. Новітні технології. 2019. Вип.3(10). С.13–24. <https://doi.org/10.31180/2524-0102/2019.3.10> – *Фахове видання України*

2. Апробація наукових результатів

2.1. Богом'я В.І., Трофименко А.О. Моделювання та дослідження діяльності організаційно-технічної системи контролю приладів управління та навігації засобів руху // International scientific and practical conference «Application of information technologies in the preparation and operation of law enforcement forces», 15 березня 2019 р. – Х.: НАНГУ. – 2019. – С. 17-18. http://kinf.nangu.edu.ua/since_files/Doc/tezNPK_2019.pdf.

2.2. Трофименко А.О., Мазур А.М. Особливості синтезу контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту // Збірник тез науково-практичної конференції студентів, аспірантів і викладачів Державного університету інфраструктури та технологій, 27-29 березня 2019 р. – К.: ДУіТ. – 2019. – С. 70-71. https://files.duit.edu.ua/uploads/Сайт/conference/zbirnyk-tez-2019-r_.pdf

2.3. Богом'я В.І., Трофименко А.О. Модель діяльності організаційно-технічної системи контролю приладів управління та навігації засобів руху // 15 Міжнар. наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 10-11 квітня

2019 р. – Х.: ХНУПС. – 2019. – С. 322-323.
<http://www.hups.mil.gov.ua/assets/doc/science/conference/15/15.pdf>

2.4. Богом'я В.І., Трофименко А.О. Дослідження діяльності організаційно-технічної системи контролю приладів управління та навігації засобів водного транспорту // Матеріали дев'ятої міжнар. науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління», 11-12 квітня 2019 р. – Баку – Харків – Жиліна. – 2019. – С. 89.

2.5. Дакі О.А., Трофименко А.О. Обґрунтування принципів побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту. Інформаційна безпека та інформаційні технології: тези доп. міжн. наук.-практ.конф. (м. Харків, ХНЕУ, ЦУНТУ, 24-25 квітня 2019 року). – Харків. – 2019. – С. 5.
<http://www.hups.mil.gov.ua/assets/doc/science/conference/17/17.pdf>

2.6. Трофименко А.О., Дакі О.А. Разработка метода синтеза малогабаритной контрольно-диагностической аппаратуры для технического обслуживания средств водного транспорта // II Міжнародна науково-практична морська конференція кафедри СЕУ і ЕУ ННІ морського флоту.– Одеса. – 2020. – С.179–182.

2.7. Трофименко А.О. Особливості синтезу контрольно-діагностичної апаратури для технічного обслуговування засобів водного транспорту // Міжнародна науково-практична конференція «Водний транспорт: сучасний стан та перспективи розвитку»: тези доповідей, 16-17 травня 2019 року. – К.: ДУІТ, 2019. – С. 387-388.

2.8. Трофименко А.О. Модель оцінки технічного стану інформаційно-вимірювальної системи // Тези доповідей сьомої міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми інформатизації”(13-15 листопада 2019 р.). – Черкаси: ЧДТУ, 2019. – Т. 3: секції 5 – 7. – С. 109.

2.9. Трофименко А.О. Обґрунтування вимог до інформаційного забезпечення вимірювального-діагностичних комплексів // 16 Міжнар. наук.

конф. Харківського національного університету Повітряних Сил «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 15-16 квітня 2020 р. – Х.: ХНУПС. – 2020. – С. 534.

<http://www.hups.mil.gov.ua/assets/doc/science/conference/16/xvi-conf-hnups.pdf>

2.10. Павленко М.А., Трофименко А.О. Вибір раціональної системи технічного контролю засобів водного транспорту // Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference «Problems of implementation of science into practice» (20-21 April, 2020). – Oslo, Norway. – 2020. – Pp. 319-323.

3. Додаткові публікації.

3.1. Штрибець В.В., Трофіменко А.О., Шевченко А.П. Розроблення фільтрових методів спектрального аналізу випадкових сигналів для контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту // Slovak international scientific journal. – Vol. 1. – No. 34. – 2019. – P. 30-38. – *Журнал країни ЄС*.

3.2. Штрибець В.В., Трофименко А.О. Методи спектрального аналізу випадкових сигналів для контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції «Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку», 20-21 листопада 2019 р. – К.: ДУІТ, 2019. – С. 152-155.

3.3. Богом'я В.І., Трофименко А.О. Удосконалення системи експлуатації водного транспорту // Науково-технічна конференція «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу», 24-25 квітня 2018 р. – Київ: Мінприроди, ДЕА. – 2018. – С. 56–57.
<http://www.dea.edu.ua/img/source/Doc/tezu.pdf>

ДОДАТОК В

**ПЕРЕЛІК ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ
ОБСЛУГОВУВАННІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ**

Таблиця В.1 – Перелік параметрів контролю при технічному обслуговуванні радіоелектронних елементів засобів водного транспорту

№ з/п	Найменування параметра, що контролюється	Діапазон вимірювання
1	2	3
1.	Азимут	360^0
2.	Амплітуда імпульсів	(2,4-4)В, (0-5)В, 8В, (30-50)В, (0-40)В, (80-90)В
3.	Амплітудність імпульсів	(0,15-1,15) мкс
4.	Амплітуда імпульсних сигналів	0,75В
5.	Взаємний вплив каналів кутів супроводження за сигналами	$\leq 15\%$
6.	Вихідна імпульсна потужність	(100-250)Вт
7.	Динамічний діапазон	(80-45) дБ/Вт
8.	Динамічний діапазон регулювання	100дБ
9.	Диференціальність максимальних кутів	$\leq 2,0^0$
10.	Тривалість імпульсу	(0,32-500) мкс, (2-590) мс
11.	Ємність	0,01 мкФ
12.	Затримка імпульсу відповіді	(1,45-1,8) мкс, (1,65-0,15) мкс
13.	Змінна напруга	Від 3 В до 250 В
14.	Інерційність ланцюга	≥ 100 мкс
15.	Імпульсна напруга	(0-10) В
16.	Крутизна	0,25 ма/ма вит
17.	Опір	від 0,005 Ом до 20 МОм
18.	Постійна напруга	від 50 мВ до 430 В

Кінець таблиці В.1

1	2	3
19.	Потужність	(0-50) Вт, (0-3) кВт, 0,5 кВт, (0,435-2,0) кВт, (40-70) кВт, (65-320) Вт
20.	Потужність високочастотних сигналів	(100-200) Вт, (2-70) Вт, ≥200Вт
21.	Проміжні частоти	(40-1250) Гц, (0,25-10,55) мГц
22.	Робочий діапазон доплеровських частот	(-10 – +325) кГц
23.	Струм	від 1мкА до 70А
24.	Температура	-25 ⁰ С – +30 ⁰ С
25.	Тиск	(0,4-360) кг/см ² , (12-360) кг/см ² , (240-350) кгс/см ² , (6-350) кг/см ² , (0,4-350) кгс/см ² , (0-370) кг/см ² , (0,018-370) кгс/см ² , 25кгс/см ²
26.	Часовий інтервал	(0,2-2) мкс, 1мс-1500с, (0,57-0,59) мкс, (6-50) мс, (0,5-1) мк, 256 мкс, (20-76) мс, 5мс-45с, (0,15-120) с, (0,75-2) мкс, 1мс-30с, (37-80) мс, (0,2-120) с, (2,8-1500) с
27.	Частота	від 30Гц до 40МГц
28.	Частота вібрацій	(16-18)Гц, (400-700)Гц, (42-2)кГц, (1200-2000)Гц
29.	Частота Доплера	(300-600)Гц, 90кГц
30.	Частота імпульсних сигналів	(380-440)Гц, 5кГц, (1-5) МГц, (8-12)МГц
31.	Швидкість	(80-180)м/с