



ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА  
МОРСЬКА АКАДЕМІЯ



А. О. Сокол, В. М. Гусєв,  
Ю. О. Кущенко, А. М. Гузь

# ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОПЛАВСТВА ЗАСОБАМИ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ:

## МЕТОДИ СИНТЕЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ ДІЙ СУДНОВОДІЇВ





Міністерство освіти та науки України

ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ



А. О. СОКОЛ, В. М. ГУСЄВ,  
Ю. О. КУЩЕНКО, А. М. ГУЗЬ

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ  
СУДНОПЛАВСТВА  
ЗАСОБАМИ ТРЕНАЖЕРНОЇ  
ПІДГОТОВКИ:  
МЕТОДИ СИНТЕЗУ  
ТА ОЦІНЮВАННЯ ДІЙ  
СУДНОВОДІЇВ

*Монографія*

О д е с а  
«Астропринт»  
2025

УДК 53.083:620.21

C593

DOI: doi.org/10.35668/instst2025

Рецензенти:

**С. В. Сагін**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри суднових енергетичних установок Навчально-наукового інституту інженерії Національного університету «Одеська морська академія»;

**О. М. Тимошук**, доктор технічних наук, професор, в. о. директора Навчально-наукового Київського інституту водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Національного транспортного університету;

**Я. А. Нагрибельний**, доктор педагогічних наук, професор Херсонської державної морської академії

*Рекомендовано до друку вченою радою Херсонської державної морської академії (протокол № 6 від 30.10.2025 р.)*

**Сокол А. О.**

C593 Підвищення безпеки судноплавства засобами тренажерної підготовки: методи синтезу та оцінювання дій судоводіїв : монографія / Сокол А. О., Гусєв В. М., Кущенко Ю. О., Гузь А. М. ; Херсон. держ. мор. акад. — Одеса : Астропринт, 2025. — 144 с.

ISBN 978—617—8569—53—2

Монографія присвячена підвищенню безпеки судноплавства через удосконалення тренажерної підготовки судоводіїв. Запропоновано підходи до синтезу інформаційно-технічних систем тренажерних комплексів, методи індивідуальних тестових завдань, відбору інформаційних елементів і інтегрального оцінювання операторської діяльності. Рішення спираються на інтелектуальні технології (нечітке виведення, моделювання) та забезпечують адаптивність навчання.

Для науковців, викладачів, розробників і практиків.

УДК 53.083:620.21

© ХДМА, 2025

© Сокол А. О., Гусєв В. М.,  
Кущенко Ю. О., Гузь А. М.,  
2025

ISBN 978—617—8569—53—2

## З М І С Т

<i>Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів</i>	4
<i>Передмова</i> . . . . .	5
<b>Розділ 1. Підготовка судноводіїв у контексті безпеки судноплавства</b>	
1.1. Діяльності судноводіїв під час керування судном у різних умовах . . . . .	8
1.2. Використання тренажерів у системі професійної підготовки судноводіїв . . . . .	23
1.3. Модель діяльності судноводія під час вирішення завдань керування судном . . . . .	35
<b>Розділ 2. Інтелектуальні методи управління інформаційним середовищем тренажерної підготовки</b>	
2.1. Формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки . . . . .	45
2.2. Відбір інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу . . . . .	54
2.3. Використання VR-технологій у формуванні психофізіологічної готовності курсантів як чинника підвищення безпеки судноплавства . . . . .	75
<b>Розділ 3. Методи оцінювання результатів діяльності судноводіїв</b>	
3.1. Контроль рівня підготовки судноводіїв . . . . .	84
3.2. Отримання індивідуальних оцінок діяльності . . . . .	90
3.3. Інтегральна оцінка операторської діяльності . . . . .	103
<b>Розділ 4. Ефективність методів та рекомендацій щодо вдосконалення процесів тренажерної підготовки</b>	
4.1. Удосконалення інформаційного середовища тренажерного комплексу . . . . .	107
4.2. Ефективність вирішення завдань управління суднами й екіпажами . . . . .	112
4.3. Оцінка ефективності розробленого тренажера для підготовки судноводіїв . . . . .	115
<i>Загальні висновки</i> . . . . .	126
<i>Додаток. Основні категорії помилок (за документами ІМО)</i> . . . . .	128
<i>Список використаних джерел</i> . . . . .	133

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

СОА	— метод центру ваги
ІМО	— Міжнародна морська організація
МОМ	— метод усередненого максимуму
АІС	— автоматична ідентифікаційна система
АКОД	— апаратура контролю й оцінювання дій здобувача освіти
АКСД	— автоматизована підсистема контролю судноводійської діяльності
АРМ	— автоматизоване робоче місце
АРМО	— автоматизоване робоче місце здобувача освіти
АСУ	— автоматизована система управління
БД	— база даних
БЗ	— база знань
ЗМЗ	— загальне математичне забезпечення
ІДС	— інформаційно-довідкова система
ІЕ	— інформаційний елемент
ІС	— інтелектуальна система
ІТ	— інтелектуальна технологія
ЛСЗ	— логічна схема завдань
НВ	— нечітке виведення
ОЧС	— обчислювальна система
ПЗ	— програмне забезпечення
ПКД	— підсистема автоматичного контролю діяльності здобувача освіти
ПКУ	— пульт контролю та управління
ППЗС	— правила попередження зіткнень суден
РЛІ	— радіолокаційна інформація
РЛС	— радіолокаційна станція
РТЗ	— радіотехнічне забезпечення
СЗ	— система зв'язку
СМ	— система моделювання
СМЗ	— спеціальне математичне забезпечення
СУРС	— система управління рухом судна
СУТ	— система управління тренуваннями
ТПЗ	— тестове програмне забезпечення
ФП	— функція приналежності
ЦУРС	— Центр управління рухом суден
ШІ	— штучний інтелект

## ПЕРЕДМОВА

Безпека судноплавства в сучасних умовах являє собою одну з найактуальніших і багатогранних проблем, які потребують глибокого аналізу і системного підходу. В останні десятиліття спостерігається значне збільшення інтенсивності руху морського транспорту. Причиною цього феномена є глобалізація економіки, зростання обсягів міжнародної торгівлі та розвиток нових логістичних маршрутів [1–3]. Ці зміни ставлять перед судноводіями та членами екіпажу нові виклики, які вимагають не тільки високої кваліфікації, а й здатності до швидкої адаптації в умовах невизначеності та мінливості навколишнього оточення [4–7].

Судноводіння в різних умовах вимагає від екіпажів застосування специфічних навичок і знань. Так, навігація в арктичних водах, де переважають складні льодові умови, вимагає від судноводіїв глибокого розуміння фізики льоду, а також здатності приймати адекватні рішення в умовах обмеженої видимості та високої ймовірності виникнення аварійних ситуацій [8; 9]. Аналогічно, судноводіння в обмежених водах, таких як вузькі канали або порти з високою щільністю руху суден, пред'являє особливі вимоги до маневреності та точності управління. У цих умовах навіть невеликі помилки можуть призвести до серйозних наслідків, включно із зіткненнями або аваріями [10; 11].

Збільшення інтенсивності руху морського транспорту також пов'язане зі скороченням можливих транспортних артерій [12; 13]. В умовах зростаючої конкуренції за простір на морі та в портах, а також зміни клімату, що впливає на навігаційні умови, стає особливо важливим оптимальне використання наявних ресурсів. Це вимагає від судноводіїв не тільки технічних знань про судно та його обладнання, а й уміння ефективно взаємодіяти з іншими учасниками морського руху [14].

Одним із ключових напрямів підвищення безпеки судноводіння є вдосконалення процесів тренажерної підготовки майбутніх судноводіїв і членів команди суден. Традиційні методи навчання вже не можуть повністю задовольнити сучасні вимоги до підготовки

фахівців. Необхідність впровадження нових технологій в освітній процес стає очевидною [15].

Удосконалення тренажерних пристроїв міститиме створення більш реалістичних симуляторів, здатних відтворювати складні сценарії навігації та взаємодії з іншими суднами [16]. Крім того, важливо розвивати системи оцінки результатів тренажерної підготовки, які дозволять точніше визначати рівень готовності здобувачів освіти до реальних умов роботи на морі [17–19].

Впровадження систем штучного інтелекту (ШІ) для генерації можливих сценаріїв роботи тренажерів являє собою перспективний напрямок у галузі підготовки судноводіїв. Такі системи можуть адаптивно оцінювати дії здобувачів освіти залежно від їхнього рівня підготовки та специфіки виконуваних завдань. Штучний інтелект здатний моделювати різні ситуації, включно з екстремими випадками і непередбачуваними обставинами, що дає змогу підготувати екіпажі до дії в умовах стресу і невизначеності [20; 21].

Таким чином, комплексний підхід до підвищення безпеки судноводіння містить інтеграцію нових технологій і методів навчання. Це забезпечить вищий рівень підготовки судноводіїв до викликів сучасного морського транспорту і дасть змогу мінімізувати ризики аварійних ситуацій на морі. Наукове осмислення цих процесів стане основою для розроблення ефективних стратегій підвищення безпеки морських перевезень в умовах глобальних змін.

У зв'язку з цим наукове завдання, спрямоване на розроблення методу синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок управління судном, є *актуальним*.

*Метою монографії* є розробка методу, який зменшує виникнення помилок під час управління судном при вирішенні завдань підготовки судноводіїв на тренажерних комплексах.

*Наукова новизна дослідження* полягає в подальшому розвитку методу формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія під час тренажерної підготовки, який, на відміну від відомих, відрізняється адаптивною процедурою вибору заданої кількості тестів із множини тестових методик з визначення рівня професійної підготовки здобувача освіти, що дозволяє мінімізувати час вибору; *удосконаленні методу* відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу, який, на відміну від відомих, відрізняється застосуванням процедури нечіткого логічного

виведення Ларсена у процесі ситуаційного формування інформаційної моделі під час підготовки судноводіїв, що дозволяє індивідуалізувати відображення елементів надводної обстановки відповідно до вирішуваних завдань і формувати вправи дозовано прогресуючої складності; *розробці моделі* формування інформаційного середовища навчання для тренажерного комплексу підготовки судноводіїв у тренажерно-імітаційному комплексі, яка базується на використанні інтелектуальних методів управління інформаційним забезпеченням тренажерів і проведенням вхідного, проміжного й підсумкового контролю сформованості навичок судноводіїв з фіксацією логічних, операційних і часових помилок для внесення необхідних змін до програми підготовки.

*Практичне значення отриманих результатів у монографії* дають змогу формувати набір індивідуальних тестових завдань, інформаційне середовище тренажерного комплексу та оцінити діяльність судноводіїв. Метод формування набору індивідуальних тестових завдань дає змогу оцінювати рівень підготовки судноводія. Індивідуалізація відображення елементів надводної навколишньої обстановки відповідно до вирішуваних завдань завдяки методу формування інформаційного середовища навчання в тренажерному комплексі для підготовки судноводіїв дає змогу формувати вправи дозовано прогресуючої складності. Апарат формалізації правил отримання оцінок індивідуальної та групової діяльності дозволить привести оцінки різної природи до єдиної системи. Отримані інтегральні оцінки забезпечують об'єктивність контролю діяльності здобувача освіти та рекомендації щодо їх подальшого навчання.

## **ПІДГОТОВКА СУДНОВОДІЇВ У КОНТЕКСТІ БЕЗПЕКИ СУДНОПЛАВСТВА**

### **1.1. Діяльності судноводіїв під час керування судном у різних умовах**

Надійність і своєчасність вирішення завдань керування рухом судна в різних умовах плавання багато в чому визначається впливом людського фактора. Професійна діяльність судноводіїв у процесі судноводіння може супроводжуватися помилками різної природи і характеру. Вони можуть призвести до скоєння аварій, пошкодження елементів портової та транспортної інфраструктури і навіть до катастрофи [31–35].

Отже, питання аналізу помилкових дій судноводіїв і психофізіологічних причин, що їх спричинили, методів і напрямів їх мінімізації або усунення є актуальним. Тому підрозділ 1.1 присвячено розгляду цього питання. З позиції системного аналізу розглядаються особливості роботи судноводіїв і чинники, що ускладнюють процес керування судном у різних умовах. Для аналізу і класифікації помилок оператора введено такі критерії: місце помилки в структурі ергатичної системи; зовнішній прояв помилки; наслідки помилки; характер відображення помилки у свідомості оператора; причини помилки.

Розглянуті помилкові дії судноводіїв класифіковані та зведені в три основні категорії помилок: управління обладнанням; процедурні та зв'язку. Також до суб'єктивних причин, що призвели до різних наслідків, відносять: незадовільну організацію спостереження, слабку підготовку, відсутність або недостатні практичні навички у використанні радіолокаційної інформації, нехтування розумною обережністю, правилами та положеннями. Об'єктивні причини створюють умови для прояву суб'єктивних. Для зниження кількості зіткнень суден та їхніх наслідків необхідно усунути причини, що спричиняють помилки і порушення.

Спостереження полягає в гарантованому виявленні несподіваних змін в обстановці, що часто змінюється, особливо в умовах поганої видимості. Пізнє виявлення фіксується у значній частини суден, що вказує на недоліки в організації штурманської служби і низьку дисципліну судноводіїв. Основними причинами пізнього

виявлення є відволікання від спостереження під час зміни вахт, відволікання старшого помічника на господарські справи і ослаблення спостереження через надмірну кількість спостерігачів на містку. Ці недоліки призводять до несвоєчасного виявлення зустрічних суден і небезпечних змін обстановки.

Незадовільне використання радіолокаційного обладнання також є важливою причиною пізнього виявлення. Неправильне налаштування радіолокаційних станцій (РЛС), недостатня організація радіолокаційного спостереження і нехтування радіолокаційною прокладкою сприяють виникненню небезпечних ситуацій.

Таким чином, основна причина помилок полягає в нехтуванні вимог про своєчасність дій. Для підвищення безпеки мореплавства необхідно поліпшити підготовку судноводіїв, розвивати їхні практичні навички та суворо дотримуватися встановлених правил.

Системи управління рухом суден (СУРС) пройшли шлях від простих радіолокаційних станцій (РЛС) до високотехнологічних інформаційно-технічних комплексів, що використовують сучасні досягнення в галузі радіоелектроніки та обчислювальної техніки. На теперішній час у світі функціонують понад 500 СУРС, що зумовлено як зростанням вантажообігу і збільшенням інтенсивності судноплавства, так і необхідністю запобігання екологічним катастрофам, пов'язаним із морськими аваріями.

За призначенням та особливостями роботи СУРС класифікуються як:

- портові, що діють в акваторіях портів і на підходах до них;
- річкові, що функціонують на внутрішніх водних шляхах;
- прибережні, що охоплюють територіальні води та міжнародні протоки, а також райони видобутку вуглеводнів на шельфі.

За розміром зони дії СУРС поділяються на:

- локальні, що обслуговують обмежені акваторії;
- регіональні, що охоплюють великі акваторії, забезпечуючи інтеграцію декількох локальних систем.

СУРС виконують такі основні функції:

- організація та регулювання судноплавства, контроль за дотриманням правил плавання;
- забезпечення безпеки в складних навігаційних умовах;
- підтримка роботи портових служб і проведення рятувальних операцій;
- контроль за судноплавством у прибережних водах в інтересах держави.

Технологічну основу СУРС складають берегові РЛС, системи обробки інформації, засоби радіозв'язку, автоматичні ідентифікаційні системи (АІС) та електронна картографія.

До складу СУРС входять Центр управління рухом суден (ЦУРС) і віддалених інформаційних постів, де розміщуються різні джерела інформації про судноплавну обстановку. Оператори СУРС аналізують поточну ситуацію і передають суднам інформацію, попередження і рекомендації щодо забезпечення безпечного судноплавства. Ефективність роботи СУРС залежить від надійності обладнання, кваліфікації персоналу і контролю з боку держави.

Системи управління рухом суден розробляються і функціонують відповідно до міжнародних стандартів, встановлених Міжнародною морською організацією (ІМО). Поряд із лоцманськими службами та навігаційними засобами СУРС визнаються важливим елементом забезпечення безпеки мореплавства. На сучасному етапі більшість значних портів і судноплавних шляхів охоплені СУРС, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності портів і зниженню ризиків. Основною тенденцією є створення інтегрованих систем безпеки мореплавства, які одночасно вирішують завдання державного контролю та інформаційного забезпечення всіх учасників морського транспортного процесу.

На містках суден організована і постійно здійснюється вахта. Її метою є забезпечення безпечного та ефективного управління судном в умовах навігації. Основне завдання вахтового складу — безперервний моніторинг навколишнього середовища і своєчасне виявлення потенційних небезпек, таких як зустрічні судна або зміни в навігаційних умовах.

До складу вахти, як правило, входять вахтовий помічник капітана, рульовий і впередсмотрящий, виконання певних функцій якими дає змогу розподілити відповідальність і підвищити рівень спостереження. Однак, незважаючи на чітку організацію, у процесі зміни вахти може виникати відволікання від спостереження, результатом чого є пізнє виявлення зустрічних суден, особливо в умовах поганої видимості або в тумані [36; 37]. Крім того, недостатня організація спостереження може сприяти виникненню помилок. Так, занадто велика кількість спостерігачів на містку може знизити індивідуальну відповідальність, оскільки кожен може покладатися на інших, що також збільшує ризик несвоєчасного реагування на зміни в обстановці [38; 39].

Основними функціями судноводія є управління судном, забезпечення безпеки навігації та контроль за дотриманням правил плавання. Судноводій відповідає за ефективне виконання маневрів, моніторинг навколишнього оточення, а також за взаємодію з іншими суднами і береговими службами.

Основними завданнями судноводія на різних етапах плавання є:

1. При підготовці до вахти судноводій повинен ознайомитися з поточною навігаційною обстановкою, перевірити стан обладнання та підготувати необхідні документи.

2. Спостерігаючи за обстановкою, у процесі навігації судноводій зобов'язаний постійно стежити за навколишнім оточенням, включно з іншими суднами, навігаційними знаками і погодними умовами, використовуючи візуальні засоби, радіолокаційні системи та інші навігаційні прилади.

3. При аналізі ситуації судноводій повинен оцінювати отримані дані, прогнозувати можливі зміни обстановки і приймати рішення на основі аналізу.

4. У процесі взаємодії з екіпажем судноводій координує дії членів екіпажу, розподіляє обов'язки і забезпечує виконання необхідних маневрів.

5. У процесі прийняття рішень судноводій на основі спостережень і аналізу приймає рішення щодо курсів і маневрів, спрямованих на забезпечення безпеки та ефективності плавання.

6. У процесі документування у судовому журналі фіксуються всі дії та зміни в обстановці, що є важливим для подальшого аналізу та звітності.

7. Під час зміни вахти судноводій має забезпечити плавний перехід, інформуючи про поточну обстановку і можливі ризики змінюваного вахтового.

Однак ефективність роботи судноводіїв і команди також залежить від умілої організації та надійної роботи всієї вахти. У 43 % випадків пригод із суднами причиною є недоліки в роботі судноводіїв [40—44]. Тому в удосконаленні системи роботи судноводіїв наведення приховані значні резерви підвищення безпеки плавання в різних умовах.

Підвищення швидкості руху суден, збільшення їхніх фізичних розмірів, зменшення доступних маршрутів для плавання ускладнили процес керування судном і вимагали істотного підвищення точності й оперативності вирішення завдань керування судном.

У теперішній час створено й удосконалюються засоби автоматизації процесів керування судном, призначені для автоматизованого контролю за надводною обстановкою і вирішення навігаційних завдань. Автоматизація підвищила точність і ефективність керування судном. Хоча існуючі та перспективні комплекси автоматизації процесів керування рухом суден істотно розширюють можливості судноводія, проте тільки цим його надійна робота не забезпечується [45—47].

Професійна діяльність судноводіїв у процесі керування судном може супроводжуватися помилками різної природи та характеру. Ці помилки можуть призвести до пригод різного роду і різного ступеня наслідків аж до катастрофи і втрати судна [48—50].

Проведений аналіз виявив помилкові дії судноводія під час керування судном [51—54]:

- пропуск і неправильне сприйняття інформації або мовного повідомлення (доповіді, команди тощо);
- прийняття неправильного рішення за інформацією, що надходить;
- несвоєчасне прийняття рішення;
- порушення типового алгоритму діяльності на технічних засобах, а саме:

- а) недотримання прийнятої черговості роботи з алфавітно-цифровою та функціональною клавіатурою;
- б) неправильний вибір і вплив на органи управління;
- в) несвоєчасне виконання керуючої дії;
- г) пропуск окремих операцій в алгоритмі;
- д) неправильна оцінка положення органу управління.

Більше половини помилкових дій судноводіїв та інцидентів класифікуються як «неграмотна» експлуатація. Їх вчиняють через недостатні знання сутності процесів, що відбуваються під час роботи системи, або недостатнє розуміння наслідків, спричинених неправильними діями [49; 50; 55]. Помилки судноводіїв призводять до затримок команд з управління судном. Це негативно позначається на якості та оперативності управління [56; 57].

У роботах [30—55; 58] наведено аналіз помилкових дій судноводіїв та їхніх психофізіологічних причин на основі вивчення 259 інцидентів, скоєних з вини судноводіїв.

Виділення причин помилкових дій ґрунтується на вивченні їхніх наслідків [59—61]. Розподіл наслідків помилкових дій судноводіїв наведено в *табл. 1.1*. Наведені дані свідчать, що найчастіше помилкові дії призводять до порушення правил маневрування.

## Наслідки помилок

Види аварійних ситуацій	Кількість	
	(аварія/дуже серйозна аварія)	
	2021 рік	2022 рік
<b>1. Навігаційні, всього:</b>	<b>750</b>	<b>1106</b>
навал	200	198
зіткнення	302	293
посадка на міліну	231	178
торкання ґрунту	157	183
зіткнення з притопленим предметом	134	209
пошкодження об'єкта морської інфраструктури	28	45
<b>З них загинуло (втрачено) суден</b>	<b>59</b>	<b>38</b>
<b>2. Технічні, всього:</b>	<b>2230</b>	<b>1906</b>
позбавлення можливості руху	450	423
пошкодження конструкцій або механізмів судна	998	890
пошкодження корпусу судна	204	197
вибухи, пожежі	389	261
втрата остійності, плавучості	127	98
зміщення вантажу або зміна його властивостей	57	25
втрата об'єкта, що буксирується	5	12
<b>З них загинуло (втрачено) суден (об'єктів, що буксируються)</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
<b>Всього загинуло (втрачено) суден</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
<b>3. Загибель людини (зникнення безвісти), випадків</b>	<b>18</b>	<b>17</b>
<b>Всього загиблих, осіб</b>	<b>18</b>	<b>17</b>
<b>4. Отримання ТТП, випадків</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Всього які отримали ТТП, осіб</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>5. Аварії, що належать до застосовних міжнародних правил запобігання забрудненню моря</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Усього аварій із торговельними суднами</b>	<b>3000</b>	<b>3032</b>

*Джерело: розроблено авторами на основі даних з [59—61]*

Основні порушення під час керування суднами з тяжкими наслідками:

- порушення правил попередження зіткнень суден (ППЗС);
- зіткнення з іншим судном або об'єктом;
- стихійне лихо та погані погодні умови;
- конструкційні помилки;
- вихід з ладу обладнання;
- погана остійність судна;
- загоряння на судні;
- навігаційні помилки.

Іноді помилки судноводіїв загрожують трагічними наслідками — зіткненням суден, пошкодженням суден, загибеллю людей, що свідчить про високу ціну помилкових дій судноводіїв і команди [50; 59—62].

Отримані дані свідчать, що в процесі керування судном судноводії мають бути постійно включені в керування судном, контролювати свої дії та дії членів екіпажу. Однак у багатьох випадках судноводії не цілком адекватно представляють надводну обстановку або концентруються лише на найближчих загрозах і погано прогнозують її зміну. Це впливає з матеріалів аналізу причин помилкових дій судноводіїв, що призвели до інцидентів (*табл. 1.2*) [63; 64].

З наведених даних видно, що найчастішою причиною помилкових дій судноводіїв є неадекватне уявлення ними навколишньої надводної обстановки. Це визначається цілою низкою чинників, зокрема недостатньою точністю і надійністю виконання окремих дій і операцій із перетворення наочно-образної інформації [59—64].

Неабиякою мірою це залежить від надійності класифікації радіолокаційної інформації (РЛІ) про навколишнє надводне оточення в районі руху, особливо при використанні навігаційного обладнання та РЛС в умовах поганої видимості або темряви.

Ідентифікація приналежності цих відміток, особливо в умовах перешкод і складної метеорологічної обстановки, є складним неординарним завданням, яке потребує високого рівня підготовки [65].

Наприклад, уявляючи взаємне положення суден і свого судна на площині, судноводій випускає з поля зору параметри гідрометеорологічної обстановки, не завжди правильно оцінює еволюцію інших суден та їхні швидкості. У багатьох випадках це є наслідком недоліків системи відображення інформації про надводну обстановку та обмеженості можливостей візуального контролю.

Таблиця 1.2

*Аналіз психофізіологічних причин виникнення помилок судноводіїв*

Причини	Кількість випадків	%
1. Помилки сприйняття й аналізу інформації, що надходить:	104	40,1
— помилки формування просторового образу надводної обстановки	78	30,1
— переплутування міток на екрані РЛС	26	10
2. Помилки процесу прийняття рішення:	62	23,9
— ігнорування інструкцій з техніки безпеки (стратегія невіправданого ризику)	18	6,9
— помилки у використанні засобів радіотехнічного забезпечення (РТЗ)	13	5,0
— помилки в штурманських розрахунках, забування оперативної інформації, зокрема:	11	4,2
— інструкцій	8	3,1
— взаємного розташування суден	6	2,3
— планування розвитку обстановки	6	2,3
3. Помилки реалізації прийнятого рішення:	48	18,5
— помилки взаємодії між судноводієм і членами екіпажу	23	8,9
— зайва самовпевненість	15	5,8
— помилкове виконання операцій	10	3,9
4. Інші	45	17,4
<b>Всього</b>	<b>259</b>	<b>100</b>

*Джерело: розроблено авторами на основі даних з [63; 64]*

Правильному поданню надводної обстановки нерідко заважають перешкоди на екрані відображення інформації від різних засобів, обмеження видимості, порушення правил плавання. Дані про положення суден, що надходять дискретно, не знаходять свого оперативного відображення у свідомості судноводіїв для представлення характеру руху і прогнозу взаємного положення суден у динаміці зміни обстановки.

Найбільша кількість помилок припадає на етап інформаційної підготовки прийняття рішення. Це зумовлено якісною своєрідністю

процесу формування концептуальної моделі надводної обстановки [66—69].

У процесі управління судном судноводієві доводиться декодувати числові значення, що характеризують переміщення судна, в їхній якісний вираз — далі, ближче, швидше, повільніше. Переміщення суден за маршрутом видно на екрані навігаційної системи, а інформацію про параметри руху і відстані до перешкод для визначення характеру маневру судна судноводій отримує дискретно за запитом. Тому він запам'ятовує не тільки поточну, а й попередню (за 2—3 ітерації оновлення) інформацію. В умовах дискретно примусового оновлення інформації значно зростає навантаження на оперативну пам'ять судноводія, що нерідко є причиною помилок.

Помилки прийняття рішень у процесі керування судном часто зумовлені недоліками у формуванні концептуальної моделі керування, а також труднощами в актуалізації необхідних правил та інструкцій. Значна частина цих помилок виникає через застосування «стратегії невиправданого ризику», коли судноводій, прагнучи вирішити поточне завдання, нехтує вимогами безпеки. Це може призвести до небезпечного зближення суден, недооцінки загальної обстановки і прояву зайвої самовпевненості.

Особливостями діяльності судноводія є [70—73]:

— прогнозування взаємного положення суден в умовах постійної зміни курсу, динаміки та умов руху;

— прийняття оперативних рішень з урахуванням конкретних обставин і характеристик надводної обстановки, що складається;

— вибір раціональних рішень за критеріями ефективності управління судном і дотримання вимог безпеки плавання, перевезення вантажів і пасажирів;

— безперервність представлення характеру переміщення суден у зоні плавання;

— безперервно дискретний процес отримання інформації про надводну обстановку в районі плавання.

Процес керування судном у районі плавання, в якому перебувають й інші судна, є складним завданням, яке вимагає високого ступеня концентрації та правильного прийняття рішень. Однак на ефективність цього процесу впливають певні чинники:

1. Прогноз взаємного положення суден у просторі залежить від інтервалу часу між сформованими уявленнями про характер їхнього маневру в зоні плавання. Чим коротший цей інтервал, тим точнішим буде прогноз і ефективнішим процес.

2. Час і ймовірність правильного уявлення оператором курсу і характеру руху суден: велику складність становлять еволюції, які характеризуються змінним характером руху. Оператор повинен мати можливість швидко і точно уявити собі курс і характер руху суден, щоб забезпечити ефективне наведення.

3. Надійність прогнозу взаємного положення суден, яка залежить від виду і складності суміщеної з ним діяльності. Чим складнішою є діяльність, тим важливішим є точний прогноз взаємного положення суден.

4. Уявлення операторами профілю переміщення суден і прогноз їхнього взаємного положення в просторі, що характеризується значним різноманіттям стратегій і способів розв'язання завдань, пов'язаних з індивідуально-психологічними особливостями перетворення інформації. Це означає, що оператори повинні мати можливість використовувати різні стратегії та підходи для вирішення завдань.

Однак повністю виключити помилки в діяльності людини неможливо. Неминучість помилок означає, що мало вміти діяти правильно, необхідно навчитися попереджати, виявляти і виправляти помилки [74—76].

Джеймс Різон вважає помилками випадки, коли планова розумова або фізична діяльність оператора не досягає результату [74—76]. Помилка — «незапланована дія». Ми або робимо те, що не повинні робити (*помилка виконання*), або не робимо те, що повинні зробити (*пропуски*). У будь-якому разі, результат не відповідає намірам [76; 77].

Розглядаючи помилки, допущені людиною, їх можна класифікувати на 4 категорії [78] (*рис. 1.1*).

**Перша категорія помилок:** латентні (приховані) і активні.

*Латентні* (приховані) помилки — умови або події в минулому. Наприклад, професійний відбір, психофізіологічні якості оператора, конструктивні помилки обладнання.

*Активні* — безпосередні помилки або дії, що стали причиною помилок (пускові події).

Активні помилки поділяються на 3 *види*: помилки, пов'язані з навичками, з правилами і знаннями. Принципова різниця між ними полягає в режимі роботи свідомості. Під час автоматичної діяльності участь свідомості мінімальна, використовуваний обсяг до 10 % і можливе одночасне виконання інших завдань (наприклад, пультові операції та ведення радіозв'язку).

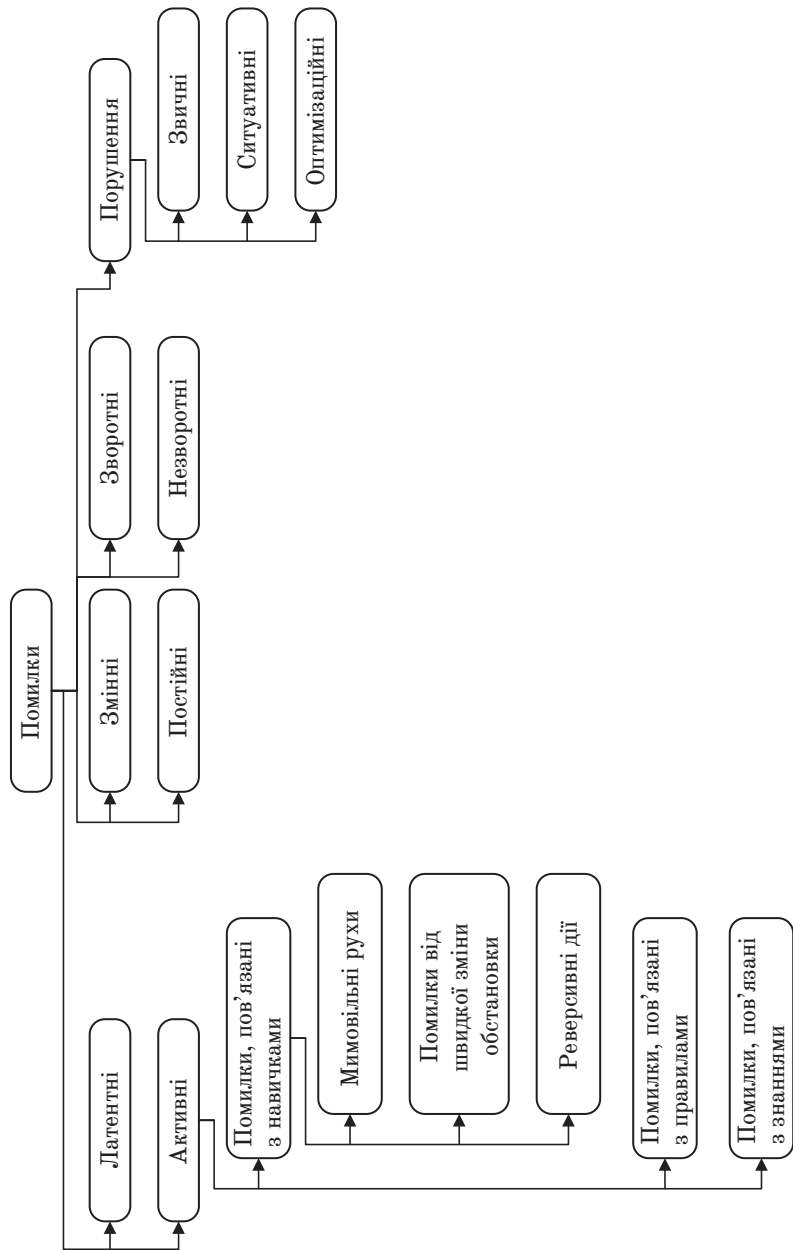


Рис. 1.1. Класифікація помилок судноводія (Джерело: розроблено авторами)

Діяльність людини можна розділити на три типи: автоматична, процедурна і свідома. Кожен тип діяльності має свої особливості і потребує різного рівня уваги та свідомого контролю.

Автоматична діяльність — це звичні дії, які виконуються без свідомого контролю. Такі дії не потребують значних ресурсів уваги і можуть бути виконані одночасно з іншими завданнями. Однак автоматична діяльність може призвести до помилок, якщо не відповідатиме ситуації.

Процедурна діяльність — це дії, які ґрунтуються на правилах і процедурах. Цей тип діяльності потребує більше ресурсів уваги, ніж автоматична діяльність, але менше, ніж свідома діяльність. Процедурна діяльність може бути виконана одночасно з іншими завданнями, але потребує деякого рівня свідомого контролю.

Свідомо діяльність — це дії, які вимагають повної уваги та свідомого контролю. Цей тип діяльності не може бути виконаний одночасно з іншими завданнями і потребує значних ресурсів уваги. Свідомо діяльність необхідна для розв'язання складних завдань і прийняття рішень.

*Помилки, пов'язані з навичками*, зазвичай трапляються через недостатню або надмірну увагу, що приділяється завданню. Це може бути результатом низької або надмірної мотивації, повернення старої навички або заміщення, коли замість однієї дії виконується інша. До помилок, пов'язаних із навичками, належать мимовільні рухи, помилки, зумовлені швидкою зміною надводної обстановки, реверсії та інші ненавмисні дії.

Навичка формується багаторазовим повторенням, тренуваннями. Усвідомлене виконання підвищує якість навчання.

*Помилки, зумовлені швидкою зміною надводної обстановки*, можуть бути результатом недостатньої уваги або надмірної мотивації.

*Реверсії* відбуваються, коли сформований стереотип не потрібен, але використовується автоматично на рівні рефлексу. Це відбувається, коли судноводій не зосереджений або в стані стресу.

*Помилки, пов'язані з правилами*, відбуваються, коли складні дії вимагають участі свідомості. Під час вирішення однотипних завдань формується стереотип дій, який полегшує виконання завдання, але знижує рівень усвідомленості. Відбувається щось на зразок автоматизації процедурної діяльності.

Можливі *помилки, пов'язані з неправильним вибором правила або процедури*. Наприклад, судноводій може неправильно визначити маневр судна і, відповідно, застосувати неправильну

процедуру або методику. У результаті маневр судна не буде адекватно сприйнятий, і контрзаходи будуть помилковими. Причиною помилки може бути недовченість, нездатність пригадати процедуру або методику.

*Помилки, пов'язані зі знаннями*, виникають у нестандартних або складних ситуаціях, для яких немає правил, коли під час вироблення рішення спираються на знання і досвід. При цьому судноводій не може чітко сформулювати суть завдання й реалізувати адекватний алгоритм пошуку та реалізації рішення, а невизначеність у підсумковому рішенні не дає змоги сформулювати бажану кінцеву мету.

**Друга категорія помилок:** змінні і постійні.

*Постійні* помилки можна передбачити, прогнозувати і контролювати, а *випадкові* передбачити і контролювати складно.

**Третя категорія помилок:** зворотні і незворотні.

*Зворотні* помилки — це помилки, які можуть бути виправлені в процесі виконання завдання. Наприклад, якщо судноводій помилився в розрахунку моменту початку розвороту для запобігання зіткненню або перетину курсу руху іншого судна, то він може за допомогою команд на зміну курсу або швидкості виправити помилку й вивести судно на безпечну траєкторію.

*Незворотні* помилки — це помилки, які не можуть бути виправлені в процесі виконання завдання. Якщо судноводій не вживає дій щодо виправлення помилки, то можливості виправлення помилки може і не виявитися. Це може призвести до незворотних наслідків.

Своєчасне виправлення помилок є критично важливим для успішного виконання завдання. Судноводій повинен бути в змозі швидко виявляти і виправляти помилки, щоб запобігти їхнім незворотнім наслідкам. Це вимагає високого ступеня уваги, концентрації та здатності швидко реагувати на зміни в ситуації, задіявши всі види діяльності судноводія.

**Четверта категорія помилок:** звичні, ситуативні й оптимізаційні. До цієї категорії відносяться помилки, які традиційно вважаються результатом системних недоліків. Порушення можуть бути наслідком помилок професійного відбору, навчання, оцінювання судноводія, якості розроблення та впровадження процедур і методик або інших системних недоліків.

Розрізняють три типи порушень [74—78]:

1) *Звичні порушення* — це порушення, що стали повсякденною нормою. Вони є результатом того, що судноводії вважають

процедуру занадто складною і порушують її, щоб спростити завдання, заощадити час.

2) *Ситуативні порушення* — це порушення, які вчиняються внаслідок дефіциту часу, високого робочого навантаження або поганої ергономіки робочого місця. Такі порушення судноводії здійснюють заради виконання посадових обов'язків всупереч усьому.

3) *Оптимізаційні порушення* — це відмова від правил. Наприклад, щоб швидше здійснити маневр або розворот, збільшують швидкості, гостріше міняють курси, виходять на критичні режими роботи вузлів і механізмів судна, тим самим порушуючи правила.

Дефіцит часу і робоче навантаження підвищують імовірність порушень. Люди порівнюють ризик і вигоду спонтанно, але реальний ризик може бути значно вищим за очікуваний.

Порушення відрізняються від помилок навмисним характером. Тобто хтось щось робить, знаючи, що це не за правилами. Порушення можуть бути результатом прагнення якнайкраще виконати роботу або некомпетентності, ліні та самовпевненості.

Облік порушень є важливим аспектом забезпечення безпеки судноводіння. Необхідно виявляти й аналізувати порушення, щоб запобігти їхньому повторенню та мінімізувати ризики.

Практично ніколи інцидент не відбувається через одну єдину помилку. Зазвичай в основі лежать кілька помилок, часто допущених різними людьми. Коли одна помилка створює умови для виникнення іншої, ускладнює умови виконання наступного завдання і провокує нові помилки, говорять про виникнення «ланцюга помилок» або «ланцюга подій».

Якщо виявити таку ланку і зрозуміти способи її «розриву», то розвиток інциденту припиниться, і ситуація нормалізується. «Розриви» ланцюга помилок можливо реалізувати лише з використанням системних інструментів: стандартних процедур (методик), правил, перевірок, тренувань [79].

Згідно з документами ІМО, концепція контролю та управління помилками відіграє вирішальну роль у забезпеченні безпеки мореплавства та запобігання нещасним випадкам на морі. Ця концепція базується на ретельному аналізі різних категорій помилок, які можуть виникнути під час експлуатації суден і морських операцій. У рамках цієї концепції виокремлюють три основні категорії помилок, кожна з яких має свої специфічні характеристики та потенційні наслідки (*див. Додаток*):

1. Активні (**active**) помилки (неправильна інтерпретація навігаційних даних, перевищення швидкості в умовах поганой видимості або неправильне використання обладнання) охоплюють прямі й безпосередні дії або рішення, прийняті судноводіями, які можуть призвести до небажаних наслідків. Вони можуть бути результатом неправильного розуміння ситуації, нестачі досвіду або уваги, а також інших чинників, що впливають на процес прийняття рішень.

2. Латентні (**latent**) помилки є прихованими або потенційними проблемами, які можуть не відразу проявитися, але створюють передумови для майбутніх помилок або інцидентів. Ці помилки часто пов'язані з організаційними або системними недоліками, такими як неадекватна підготовка персоналу, неякісне обладнання або неефективні процедури. Латентні помилки можуть залишатися непоміченими доти, доки не створять відповідні умови для виникнення активних помилок або інцидентів.

3. Порухення (**violations**). Цей тип помилок передбачає навмисне або усвідомлене ігнорування правил, процедур або рекомендацій, що може істотно підвищити ризик виникнення інцидентів або нещасних випадків. Порухення можуть бути спричинені різними факторами, включно з тиском з боку керівництва, прагненням заощадити час або ресурси, а також особистими переконаннями або мотивацією. Прикладами порушень можуть бути ігнорування вимог до безпеки, навмисне відключення систем безпеки або недотримання регламентів [70—79].

Розуміння цих категорій помилок мають вирішальне значення для розроблення ефективних стратегій контролю та управління помилками в морській індустрії. Регулярний аналіз і коригування процедур, навчання й обізнаність персоналу, а також безперервний моніторинг і поліпшення умов праці та обладнання — все це відіграє ключову роль у мінімізації ризиків і запобіганні помилкам, здатних призвести до серйозних наслідків.

Ці категорії помилок не є взаємовиключними і вичерпними. Незалежно від характеру вчиненої помилки її вплив на безпеку судноплавства визначається тим, чи зміг судноводій виявити цю помилку і вжити відповідних заходів до того, як вона призведе до небажаного інциденту або небезпечних наслідків [76; 78].

Судноводії під час штатного виконання своїх функціональних обов'язків мають уміти застосовувати заходи протидії, спрямовані на те, щоб помилки і небажані стани не призвели до зниження порогового рівня безпеки під час керування судном. Прикладами

таких заходів можуть бути систематичні тренування з використанням тренажерів, інструктажі та стандартні експлуатаційні процедури і методики.

На думку Haskett Consulting Inc. (HCI): «Люди запам'ятовують 20 % того, що вони бачать, 40 % того, що вони бачать і чують, і 70 % того, що вони бачать, чують і роблять».

Ефективне професійне навчання судноводіїв є найважливішим елементом забезпечення безпеки мореплавства та запобігання помилкам. Одним із ключових компонентів такого навчання є постійні тренування на спеціалізованих тренажерах або тренажерно-моделювальних комплексах.

Тренажери і тренажерно-моделювальні комплекси дають змогу здобувачам освіти отримувати первинні вміння та навички в управлінні екіпажами суден, опановувати вміння контролювати помилки і небажані стани, а також підтримувати набуті вміння та навички. Такі тренування проводяться в контрольованому і безпечному середовищі, що дає змогу здобувачам освіти розвивати свої навички та вміння без ризику для себе та інших.

## **1.2. Використання тренажерів у системі професійної підготовки судноводіїв**

Професійна освіта судноводія є безперервною: судноводій навчається все життя, спочатку в навчальному закладі, потім безпосередньо, плаваючи на різних суднах, закріплює і нарощує знання, вміння та навички. Навчання судноводія професійної діяльності — це комплексний різнобічний і різноплановий процес, який містить у собі низку етапів і видів підготовки з урахуванням особливостей і характеру майбутньої діяльності [80; 81].

Виокремлюють два види професійної підготовки судноводія — теоретичну і практичну [82].

Формування компетенцій судноводіїв є найважливішим аспектом забезпечення безпеки мореплавства та ефективності управління суднами. Цей процес містить теоретичну і практичну підготовку, кожна з яких відіграє свою роль у формуванні необхідних знань, умінь і навичок.

Теоретична підготовка є основою формування компетенцій судноводіїв. У результаті теоретичної підготовки здобувачі освіти мають отримати глибокі та міцні знання про керований об'єкт,

принципи побудови та логіку функціонування його систем, про фізичні закони, що визначають взаємодію керованого об'єкта з іншими об'єктами та зовнішнім середовищем, про динамічні характеристики та можливості об'єкта, про органи керування та контролю, про методи керування об'єктом у різних ситуаціях.

Теоретична підготовка містить у собі вивчення таких напрямів:

— керований об'єкт: принципи побудови, логіка функціонування, фізичні закони;

— системи керування: принципи побудови, логіка функціонування, методи керування;

— динамічні характеристики та можливості об'єкта: швидкість, маневреність, стійкість;

— органи керування та контролю: принципи побудови, логіка функціонування, методи керування;

— методи керування об'єктом у різних ситуаціях: прості, складні, критичні ситуації.

Професійна практична підготовка є найважливішим аспектом формування компетенцій судноводіїв. У результаті професійної практичної підготовки формуються необхідні вміння та навички, що дають змогу судноводію впевнено здійснювати управління суднами та екіпажами в простих, складних і критичних ситуаціях.

Професійна практична підготовка поділяється на два етапи: тренажерна підготовка (навчання на тренажерах, що імітують реальні ситуації управління суднами та екіпажами) і практична діяльність (участь у реальних операціях управління суднами та екіпажами під керівництвом досвідчених судноводіїв).

Тренажерну підготовку проводять на спеціалізованому комплексному тренажері, який дає змогу відпрацювати первинні вміння та навички в управлінні екіпажами, створити з метою навчання всі можливі аварійні та критичні ситуації, з якими здобувач освіти може зустрітися в подальшій практичній роботі в різних умовах.

Використання тренажерів під час підготовки судноводіїв є більш економічно ефективним методом порівняно з навчанням у реальних умовах експлуатації суден.

Згідно з дослідженнями [80; 81], витрати на підготовку судноводіїв під час використання тренажерів істотно знижуються — приблизно до однієї десятої частини від витрат на традиційну форму навчання [82]. Аналогічно інше авторитетне джерело [78] також підтверджує економічну ефективність використання тренажерів при підготовці судноводіїв.

Імовірно, економія витрат становить від 70 % до 90 % при використанні сучасних технологій [83]. Інше дослідження [84] вказує відповідну економію витрат при використанні симуляційних технологій при навчанні [85]. Також є дані [86], які вказують відповідні значення зниження витрат при застосуванні методу віртуалізації при навчанні [87].

Аналіз [88] показує, що значна економія витрат може бути досягнута за рахунок використання технологій доповненої реальності під час навчання [89].

На тренажері можна багаторазово повторювати особливо складні ситуації під час керування суднами, поки здобувачі не опанують їх досконало. За необхідності вправи можна повторювати в уповільненому або прискореному темпі, записувати процес виконання і потім аналізувати кожну дію. Такий підхід значно прискорює процес становлення професіоналізму судноводія порівняно з традиційними методами навчання [77—89].

Навчання відбувається в ідентичних умовах реальної експлуатації, на тих самих робочих місцях і з використанням тих самих технічних засобів, якими користуються судноводії під час практичного керування суднами. Основним інструментом навчання є тренажерно-імітаційна система, що являє собою комплекс взаємопов'язаних імітаційних модулів. Ці модулі дають змогу готувати не тільки судноводіїв, а й інших членів екіпажу, забезпечуючи всебічну підготовку до реальних ситуацій на морі.

Суттєвим недоліком сучасних тренажерів для підготовки судноводіїв є недостатня об'єктивність оцінок результатів навчання [90; 91]. Традиційний підхід до оцінювання дій судноводіїв, що ґрунтується на суб'єктивній думці викладача-інструктора, не може гарантувати повну адекватність виставленої оцінки дійсному рівню розвитку знань, умінь і навичок. Це може призвести до недооцінки або переоцінки здібностей судноводіїв, що в кінцевому підсумку може вплинути на безпеку судноплавства.

Тому необхідно розробити більш об'єктивні методи оцінки результатів навчання, які б давали змогу точніше оцінити рівень підготовки судноводіїв. Це може включати використання автоматизованих систем оцінювання, заснованих на даних і алгоритмах, які дозволяють мінімізувати суб'єктивність і забезпечити більш точну оцінку знань, умінь і навичок судноводіїв.

Обсяг, повнота, об'єктивність і достовірність реєстрації дій судноводіїв, оцінка інформації, оперативність процесу оцінювання і

ступінь деталізації діяльності тих, хто навчається, здебільшого залежать від кваліфікації, досвіду і суб'єктивних властивостей інструкторсько-викладацького складу. Також на ефективність контролю за діями здобувачів освіти і виведенням підсумкової оцінки викладачем-інструктором впливають такі об'єктивні чинники:

— можливий дефіцит часу у викладача-інструктора на поточний контроль правильності дій здобувачів освіти;

— відсутність чіткої, деталізованої і всебічної системи критеріїв оцінювання дій судноводіїв, пов'язаної з різними рівнями технологічної структури їхньої діяльності, індивідуального професійного і життєвого досвіду, відсутність засобів автоматизованого об'єктивного контролю.

Розроблення незалежних автоматизованих засобів реєстрації, аналізу та оцінювання дій судноводіїв і застосування їх на тренажерах (тренажерних системах) дає змогу зменшити залежність оцінювання від суб'єктивної складової та розв'язати проблеми, пов'язані з впливом об'єктивних чинників. Для цього проведемо аналіз побудови перспективних тренажерних комплексів для підготовки судноводіїв.

Раціональне проектування комплексів тренажерів вимагає впровадження передових технологій, що забезпечують оптимальну інтеграцію інформаційних, апаратних і програмних компонентів. Такий підхід дає змогу багаторазово й економічно використовувати ресурси, забезпечувати постійну модернізацію тренажерів і розширювати їхню функціональність.

Для забезпечення вдосконалення професійних навичок і вмінь судноводіїв в управлінні судном на тренажери покладаються такі ключові завдання:

— **імітація реальних умов:** моделювання функціонування об'єкта і зовнішньої обстановки в засобах спостереження відповідно до дій здобувачів освіти як у нормальних, так і в критичних режимах, з можливістю регулювання масштабу часу;

— **створення імерсивного середовища:** моделювання фізичних факторів робочого середовища, що викликають у здобувачів відчуття, адекватно пов'язані з алгоритмом їхньої діяльності;

— **ефективне управління процесом навчання і тренування** для досягнення максимальних результатів;

— **контроль, оцінка і реєстрація** діяльності судноводія в процесі навчання і тренування для виявлення сильних і слабких сторін;

— **аналіз і корекція:** відтворення інформації, зафіксованої в процесі навчання і тренування, з можливістю тимчасової зупинки і повернення на будь-який попередній етап відпрацьованого завдання для докладного аналізу і корекції помилок.

Тренажер має забезпечувати ідентичність сприйняття інформації та просторово-часових характеристик керівних впливів здобувачів освіти на тренажері і на реальному об'єкті, широкий діапазон відтворюваних у тренувальних вправах умов і ситуацій, гнучку перебудову на виконання різних завдань.

Виконання зазначених завдань і вимог забезпечується відповідною структурною побудовою тренажера [92; 93].

З урахуванням найсуттєвіших завдань, які мають бути реалізовані на тренажері, його можна уявити як систему, що складається з судноводія (далі — здобувач освіти), автоматизованого робочого місця здобувача освіти (оператора) (АРМО), системи моделювання (СМ), апаратури контролю й оцінювання дій здобувача (АКОД) та інструктора і зв'язків між ними (рис. 1.2) [94; 95].

Ключовим компонентом тренажера є АРМО. На ньому відтворюються умови реального процесу керування судном, що дає змогу операторові отримувати практичний досвід в управлінні об'єктом. АРМО являє собою точну копію робочої зони реального об'єкта або сам реальний об'єкт, оснащений усіма необхідними органами управління, засобами відображення і зв'язку, які використовуються здобувачами освіти під час управління об'єктом.

Для моделювання реального процесу використовується обчислювальна система (ОчС), яка працює на основі програмно

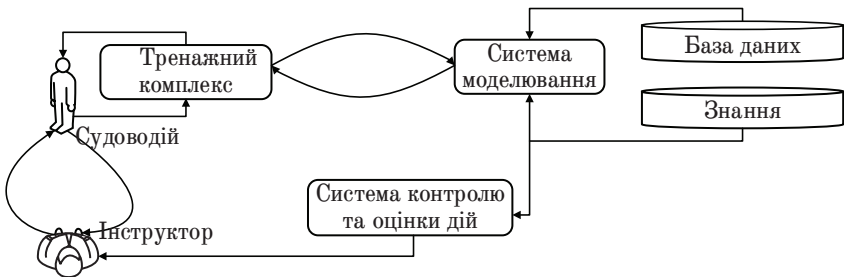


Рис. 1.2. Узагальнена структура тренажера. Джерело: розроблено авторами

реалізованої моделі об'єкта і його систем. Ця система розраховує параметри, необхідні для імітації умов реального процесу, і виводить їх на засоби відображення АРМО. Коли здобувач освіти вводить керувальні впливи, вони стають вхідними параметрами моделей, що дає змогу імітувати реальний процес і надавати оператору можливість практичного навчання.

Для ефективного навчання судноводіїв тренажер має бути оснащений спеціальним програмним забезпеченням, яке дає змогу імітувати реальні умови судноплавства. Програмне забезпечення тренажера доцільно структурувати за завданнями і розділити на загальне математичне забезпечення тренажера (ЗМЗ) і спеціальне математичне забезпечення (СМЗ). Крім того, тренажер має тестове програмне забезпечення (ТПЗ), призначене для контролю цілісності систем і працездатності обладнання в період експлуатації тренажера.

СМЗ є найважливішим елементом тренажера, до складу якого входять:

- модель судна і його систем;
- модель об'єкта управління;
- модель середовища (наприклад, погоди, хвилювання);
- систему імітації обстановки, яка дає змогу створювати реалістичні сценарії для навчання.

Для ефективного управління тренуваннями на тренажері необхідна система управління тренуваннями (СУТ). Вона має у своєму складі:

- пульт контролю та управління (ПКУ) з кількома робочими місцями інструкторів;
- програмне забезпечення (ПЗ) управління тренувальним процесом з інтерфейсом користувача;
- підсистему автоматичного контролю діяльності здобувача освіти (ПКД);
- програмне забезпечення підготовки вправ, реєстрації та аналізу його результатів;
- інформаційно-довідкову систему щодо штатного об'єкта і тренажера (ІДС).

Зв'язок між робочими місцями на тренажері забезпечує система зв'язку (СЗ), яка дає змогу імітувати зв'язок між об'єктами керування, між здобувачами та ПКУ, а також забезпечує персонал, який проводить тренування, технологічним зв'язком.

Таким чином, тренажер для навчання судноводіїв має бути оснащений складним програмним забезпеченням, яке дає змогу

імітувати реальні умови судноплавства і забезпечує ефективне управління тренуваннями.

На думку авторів [90—95], незважаючи на специфіку завдань підготовки операторів, тренажер має таку типову структуру (рис. 1.3).

Однак під час проєктування тренажерів недостатньо уваги приділяється системі управління якістю професійної підготовки судноводіїв (підсистемі автоматичного контролю операторської діяльності).

Контроль операторської діяльності судноводія має на меті:

- оцінити відповідність дій судноводія вимогам до виконуваних завдань;
- виявити причини неправильних дій судноводія або дій, які можуть бути наслідком недостатнього навчання;

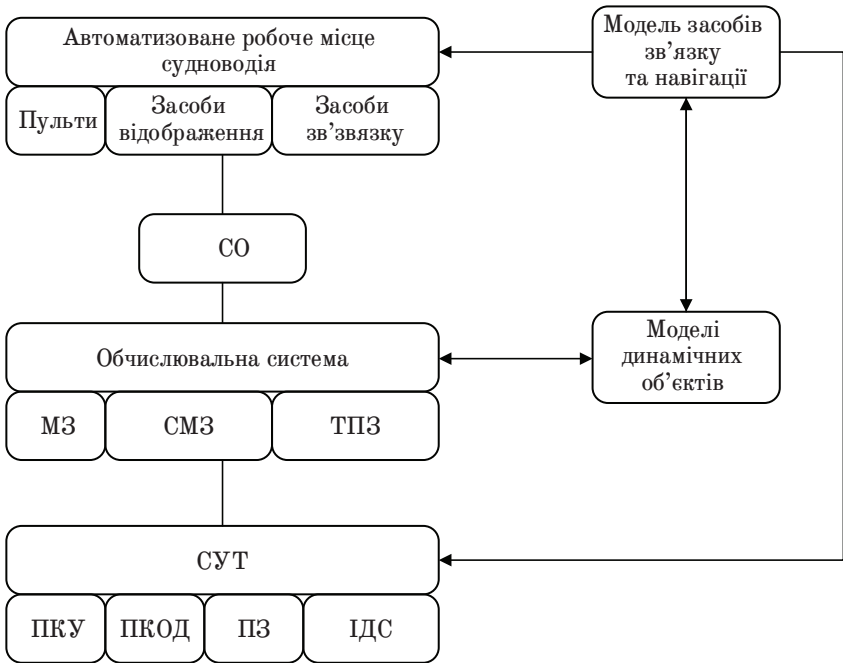


Рис. 1.3. Типова структура тренажера для підготовки судноводіїв  
(Джерело: розроблено авторами)

— визначити ступінь підготовленості судноводія до дій у реальних умовах, а також моменту їхньої готовності до переходу від одного тренувального завдання до іншого.

Глибина аналізу результатів дій судноводія на тренажері й осмисленість виконання ним поставлених завдань забезпечують розвиток його здібностей грамотно виконувати функціональні обов'язки. Для цього тренажери мають автоматизовану систему управління (АСУ) якістю підготовки судноводіїв.

Під час вхідного контролю роботи системи в процесі навчання судноводіїв у цій АСУ циркулюють такі інформаційні потоки:

- дані про дії судноводія;
- результати аналізу дій судноводія;
- інформація про ступінь підготовленості судноводія;
- дані про виконання тренувальних завдань.

На початковому етапі підготовки судноводіїв (перепідготовки, перенавчання, підвищення кваліфікації) проводиться оцінювання рівня їхньої професійної підготовки для формування стратегії навчання. Для цього в систему вводять персональні дані судноводіїв і формують набір індивідуальних завдань для відпрацювання на тренажері. Формування набору індивідуальних завдань передбачає розв'язання багатокритеріальної задачі оптимізації щодо формування набору тестів із використанням взаємозв'язку характеристик тестових методик.

Під час формування індивідуального набору тестових завдань необхідно враховувати такі чинники:

- персональні дані судноводія, включно з його досвідом і кваліфікацією;
- рівень складності тестів для забезпечення оптимального рівня складності для кожного судноводія;
- час виконання тестів для забезпечення достатнього часу для виконання завдань судноводіями;
- валідність тестів для забезпечення відповідності реальним умовам судноплавства;
- інші характеристики, такі як тип судна та умови судноплавства.

У процесі тестування здійснюється оперативний контроль, під час якого реєструються впливи судноводія на органи управління, визначаються логічні, операційні та часові відхилення дій судноводія. Наприклад, якщо судноводій перевищує час виконання

операцій або не виконує її взагалі, це може бути ознакою того, що він потребує додаткової підготовки.

Результати вхідного контролю щодо виконання окремих операцій та етапів вирішуваного операторами завдання порівнюються з регламентованими діями в системі управління судном. При цьому виявляються порушення послідовності дій, не виконані обов'язкові або виконані неприпустимі дії. Також фіксуються часові відхилення, особливо, якщо відмінність між нормативним (за інструкцією) і фактичним часом виконання тієї чи іншої дії перевищує допустимий часовий інтервал.

За результатами вхідного контролю формується стратегія навчання судноводіїв і розраховується прогноз навченості. Це дає змогу реалізувати індивідуальний підхід до підготовки судноводіїв, що є найважливішим фактором у забезпеченні безпеки судноплавства.

Після визначення рівня підготовки та формування стратегії навчання відбувається процес ситуаційного адаптивного формування інформаційного середовища навчання оператора в процесі тренажерної підготовки з використанням інтелектуальних технологій (ІТ). Початковими умовами формування станів елементів інформаційного середовища навчання, задля його інтелектуалізації, є необхідність формалізації числових та лінгвістичних змінних, що описуватимуть процес тренажу та принципів його адаптації. Математичний апарат, який необхідно використати в дослідженні питань монографії, повинен дозволяти одночасно працювати зі змінними такого типу. Очевидно, що найповніше зазначеним вимогам відповідає апарат нечіткої логіки [96—98].

Виходячи зі стратегії підготовки, на початку навчання судноводіїв формується перелік типових завдань для відпрацювання на тренажері. Далі оператор приступає до відпрацювання як окремих операцій, так і цілих операційних комплексів. Структура процесу контролю дій судноводія змінюється залежно від типу і кількості контрольованих операцій. Але залежно від характеру розв'язуваних завдань, правильності й ефективності дій операторів глибина і масштаби його проведення можуть бути різними [99; 100].

Однак у міру набуття (підвищення) необхідних навичок операторами тренажерні засоби мають забезпечувати модифікацію умов проведення тренувань. Параметри умов і ситуацій мають змінюватися в найімовірнішому діапазоні для оптимізації обсягу інформації, що пред'являється операторові на різних етапах підготовки, і

формування гнучких, адаптивних навичок, які можна буде використовувати в прогнозованих реальних умовах його діяльності [92—94].

Тому тренажер має давати змогу інструкторові змінювати ситуації, вводити нові або додаткові умови, що ускладнюють керування об'єктом або створюють перешкоди, а також формувати вправи дозовано прогресуючої складності. При цьому навички ранжуються за значимістю. Характер завдань, що виконуються в процесі тренування, індивідуалізований з урахуванням функціональних обов'язків і можливостей оператора.

Вихідні та проміжні результати контролю діяльності судноводіїв заносяться в базу даних. Після відпрацювання комплексу типових завдань система управління якістю підготовки операторів повинна визначити ступінь їхньої підготовленості до роботи на реальному судні або готовність до переходу на відпрацювання іншого завдання. У разі невиконання будь-якого типового завдання система має скоригувати індивідуальну програму підготовки з урахуванням здібностей оператора, його навичок і вмінь.

Для створення системи управління якістю підготовки судноводіїв необхідно дослідити процес виконання ними операцій під час реального плавання. Це дасть змогу проаналізувати діяльність судноводія, виявити помилки в його роботі та виокремити ті, які можна виправити в процесі теоретичної та тренажерної підготовки.

Сучасні тренажери демонструють істотне розмаїття в аспектах технічних засобів, структурної організації та методах імітації робочих умов для операторів, а також у підходах до контролю результатів їхньої діяльності. Таке розмаїття зумовлене, насамперед, специфікою призначення і сфери застосування кожного тренажера. У зв'язку з цим прийнято класифікувати тренажери на окремі групи залежно від їхньої спрямованості: авіаційні; космічні; морські; автомобільні й залізничні тренажери, а також тренажери для спеціалістів, які управляють певними об'єктами. Використовуючи ці тренажери, можна формувати навички та вміння, необхідні для конкретної сфери діяльності. Для реалістичної імітації доквілля використовують відповідне обладнання та спеціалізовані органи контролю й управління, як зазначено в джерелах [92—94].

Однак, незважаючи на відмінності, під час побудови тренажерів використовують загальні принципи та підходи, ідентичні структури та пристрої, типові варіанти технічних рішень, пов'язаних з організацією моделювання процесів, зокрема й у реальному масштабі

часу, імітацією візуального оточення, забезпеченням контролю та управління тренуванням.

Принципи побудови тренажерів різного призначення та ефективність їх використання для професійної підготовки персоналу розглядалися в роботах вітчизняних і зарубіжних учених, зокрема: Nie Y., який досліджував питання створення і застосування тренажерів в авіаційній і космічній галузях; Tsoukalas V., який працював над розробкою тренажерів для морської та залізничної галузей; Tsoumas N. K., який зробив внесок у створення тренажерів для підготовки персоналу у сфері управління польотами; Luan X., який досліджував питання ефективності використання тренажерів у професійній підготовці; Hamed-Ahmed M. H., який працював над створенням тренажерів для підготовки персоналу в галузі ядерної енергетики; Dewan M. H., який досліджував питання створення та застосування тренажерів у галузі нафтової та газової промисловості; Hirono K., який працював над створенням тренажерів для підготовки персоналу в галузі транспорту; Plowman T., який працював над створенням тренажерів для підготовки персоналу в галузі будівництва; Ericka Johnson-Laird, який досліджував питання створення та застосування тренажерів у галузі авіації та космонавтики; James R. Brown, який зробив внесок у розробку тренажерів для підготовки персоналу в галузі управління польотами; Robert A. Bachman, який працював над створенням тренажерів для підготовки персоналу в галузі ядерної енергетики; Michael A. Gillette, який досліджував питання ефективності використання тренажерів у професійній підготовці; Patricia A. Dodge, яка зробила внесок у розробку тренажерів для підготовки персоналу в галузі транспорту; David A. Helms, який працював над створенням тренажерів для підготовки персоналу в галузі енергетики; Margaret A. Jimmerson, яка досліджувала питання створення та застосування тренажерів в галузі хімічної промисловості; Brian A. McKenzie, яка досліджувала питання створення та застосування тренажерів в галузі хімічної промисловості; Brian A. McKenzie, який зробив внесок у розробку тренажерів для підготовки персоналу в галузі будівництва [86—91].

Проблеми створення і модернізації тренажерно-моделювальних комплексів різного призначення та методологічні принципи створення інтегрованої навчально-тренувальної системи підготовки набули розвитку в роботах інших авторів [92; 93].

У теперішній час у роботах [85; 95] та ін. досить глибоко і всебічно сформовано основні ідеї модульної побудови засобів тренажерної техніки. Найявні дослідження розкривають концепцію створення інтегрованих тренажерних комплексів, а також використання у складі різних тренажерів у режимі колективного користування уніфікованих апаратних і програмних модулів. Переконливим прикладом, що підтверджує переваги модульного принципу побудови тренажерів та інтеграції всіх тренажерних засобів у єдиний комплекс, стало створення засобів підготовки космонавтів і астронавтів за програмою Міжнародної космічної станції.

Порівняльний аналіз наявних тренажерів, тренажерних систем підготовки судноводіїв з управління суднами, а також перспективних теоретичних розробок показав таке.

З одного боку, поліпшення якості підготовки судноводіїв можливе за рахунок введення автоматизованої системи оцінювання їхніх дій. Вона дасть змогу об'єктивно оцінити дії судноводіїв у різних ситуаціях, виявити помилки та недоліки, надати рекомендації щодо поліпшення їхніх навичок і вмій.

З іншого боку, на цьому етапі реалізовано тільки окремі компоненти таких систем. Наприклад, автоматизований збір даних об'єктивного контролю дає змогу збирати й аналізувати дані про дії судноводіїв, але не надає повної картини їхньої діяльності.

Крім того, не розглянуто питання формування інформаційного середовища навчання, яке дасть змогу змінювати ситуації, вводити нові або додаткові умови, що ускладнюють керування об'єктом або створюють перешкоди. Тобто судноводії не можуть тренуватися в умовах, максимально наближених до реальних, що знижує ефективність їхньої підготовки.

Також не вирішено питання формування вправ дозовано прогресуючої складності. Це означає, що судноводії не можуть поступово підвищувати рівень складності своїх тренувань, що необхідно для ефективного навчання та вдосконалення їхніх навичок.

Таким чином, у контексті вивчення питань підготовки судноводіїв перспективним питанням є обґрунтування теоретичних засад реалізації автоматизованої підсистеми контролю судноводійської діяльності (АКСД). Така підсистема дасть змогу об'єктивно оцінити дії судноводіїв, виявити помилки та недоліки, а також надати рекомендації щодо поліпшення їхніх навичок і вмій. Це, своєю чергою, підвищить безпеку та ефективність управління суднами.

### 1.3. Модель діяльності судноводія під час вирішення завдань керування судном

Створення аналітичної моделі діяльності судноводія в процесі вирішення завдань навігації та керування судном неможливе з кількох причин:

- відсутність методів формалізованого опису інтелектуальної діяльності судноводія, яка містить у собі прийняття рішень на основі досвіду та інтуїції;

- відсутність суворого алгоритму вирішення завдань судноводієм, оскільки кожен випадок вимагає індивідуального підходу й адаптації до мінливих умов;

- неможливість врахувати всі фактори, що впливають на процес діяльності судноводія, як-от погодні умови, стан судна та екіпажу.

У зв'язку з цим єдиним доступним способом проведення досліджень діяльності судноводія є імітаційне моделювання його діяльності в процесі навігації та управління судном.

Імітаційна модель відображає раціональну послідовність дій судноводія на основі аналізу алгоритмів і структури його діяльності. Формальне подання моделі діяльності судноводія під час вирішення завдань навігації та керування судном містить:

- прокладання маршруту руху;
- контроль і оцінка ситуації під час руху;
- введення даних у навігаційні системи для вирішення завдання керування судном у процесі руху;
- безперервне управління;
- контроль і оцінка результатів своїх дій і дій екіпажу.

Аналізована діяльність судноводія піддається декомпозиції до окремих операцій. Для цього використано алгоритмічний спосіб опису просторово-часових і логічних характеристик діяльності судноводія. Детальне вивчення і розуміння процедури прийняття рішень судноводієм і його реалізація дасть змогу глибше зрозуміти й поліпшити процес його підготовки і, як результат, його діяльність у процесі керування судном.

Представимо модель діяльності судноводія у вигляді орієнтованого графа (рис. 1.4, 1.5) [28; 99; 100].

Визначимо зміст вершин цього графа, а також зміст і послідовність переходів між вершинами і занесемо їх до табл. 1.3, 1.4.



Рис. 1.4. Модель діяльності судноводія у процесі вирішення завдання керування судном (Джерело: розроблено авторами на основі [28; 99; 100])

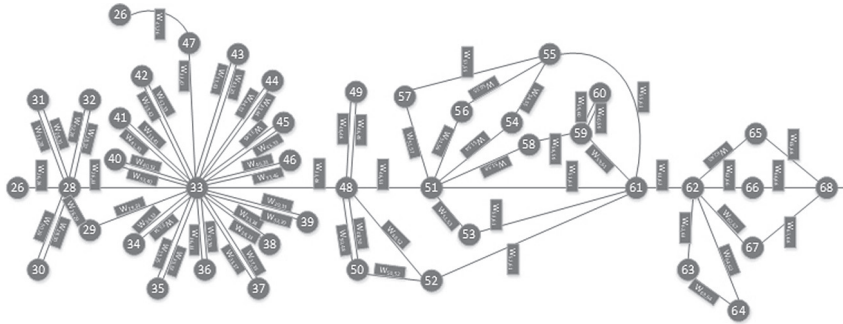


Рис. 1.5. Модель діяльності судноводія у процесі вирішення завдання керування судном (продовження) (Джерело: розроблено авторами на основі [28; 99; 100])

Таблиця 1.3

Події, що характеризують діяльність судноводія під час керування судном

Події	Зміст події
0	Визначення необхідності вирішення завдання керування
1	З'ясування задачі виконано
2	Помилки декодування інформації на засобах відображення
3	Оцінювання надводної обстановки виконано

Події	Зміст події
4	Помилка ідентифікації суден та їхніх характеристик
5	Помилка визначення параметрів руху судна
6	Команду керування вироблено
7	Помилки введення команд через органи управління
8	Неточне визначення координат відміток на РЛС
9	Врахування інформації про рухомі судна виконано
10	Неправильне надання повідомлень іншим суднам
...	...
22	Оцінювання кінцевих параметрів руху судна
23	Помилка у зчитуванні числового значення швидкості руху суден
...	...
30	Неправильний виклик довідкової інформації на екран
31	Помилки декодування абревіатур, номерних повідомлень, кодів і шифрів команд у повідомленнях
32	Неправильний виклик курсової інформації на екран
33	Корекція параметрів курсу
34	Помилкові дії з корекції курсу судна (прив'язка за площинними координатами (X, Y))
...	...
47	Недостатній контроль за суднами в зоні плавання
48	Контроль зближення з іншими суднами
49	Неправильний виклик траєкторної та курсової інформації на екран
50	Недотримання заходів безпеки
51	Маневри виконано правильно
...	...
68	Контроль виконання команд

*Джерело: розроблено авторами на основі [28; 99; 100]*

*Операції, що виконуються судноводіями*

Переходи між подіями	Дії, які виконує оператор під час переходу з одного стану в інший
$W_{0,1}$	Судноводій зчитував і декодував алфавітно-цифрову інформацію з екранів
$W_{1,2}$	Судноводій неправильно сприймає алфавітно-цифрову інформацію в повідомленні, що надійшло, яка відображається на екрані (або пропуск і неправильне сприйняття мовного повідомлення)
$W_{2,1}$	Судноводій використовує трафарети-підказки для декодування алфавітно-цифрової інформації
$W_{1,3}$	Судноводій визначає місце розташування суден їхню класифікацію та кількість у своїй зоні відповідальності
$W_{3,4}$	Судноводій неправильно визначив місце розташування інших суден
...	...
$W_{14,13}$	Судноводій повторно визначає місце розташування суден і їхні параметри
$W_{13,15}$	Судноводій використовує алгоритм маніпуляції органами управління
$W_{15,16}$ $W_{19,21}$	Судноводій не дотримується алгоритму маніпуляції органами управління
$W_{26,27}$ $W_{33,47}$	Судноводій виявляє нові судна у своїй зоні видимості
$W_{51,53}$	Судноводій пропустив операції в алгоритмі діяльності
$W_{65,68}$ $W_{66,68}$ $W_{67,68}$	Постановка завдань екіпажу

*Джерело: розроблено авторами на основі [28; 99; 100]*

Розглянута модель діяльності судноводія формально задається так [22]:

$$P = |p_{ij}|; \quad (1.1)$$

$$T = |t_{ij}|, \quad (1.2)$$

де  $P$  — матриця ймовірностей переходів між подіями  $ij$ ;  
 $T$  — матриця часу, що витрачається на роботу при переході від події  $i$  до події  $j$ ;  
 $p_{ij}$  — ймовірність переходу від події  $i$  до події  $j$ ;  
 $t_{ij}$  — час, що витрачається на перехід від події  $i$  до події  $j$ ;  
 $i = j = N$  відповідають кількості станів, в яких може перебувати судноводій.

На *рис. 1.4, 1.5* значення  $p_{ij}$  і  $t_{ij}$  задані як  $w_{ij}$ , де  $w_{ij} = (p_{ij}, t_{ij})$ .

У наведеному графі вершини відповідають подіям, наприклад, «оцінка обстановки навколо судна виконана», «помилка визначення координат і параметрів руху судна». Ребрам відповідають ймовірності переходу від однієї події до іншої і час, що витрачається на такий перехід.

Запропонована модель діяльності судноводія дає змогу оцінити час, що витрачається на вирішення різних завдань керування судном, помилки, що виникають у цьому процесі, і порядок їх усунення тощо. Основні операції, які виконує судноводій, являють собою сукупність послідовно виконуваних елементарних дій, час виконання яких є випадковою величиною.

Розроблення моделі діяльності судноводія у процесі вирішення завдань керування судном зводиться до операційного аналізу умов його діяльності.

Для оцінювання математичного сподівання часу вирішення завдань керування судном з урахуванням помилок, допущених судноводієм, і часу їхнього усунення достатньо знати апріорні оцінки ймовірності їхнього виникнення, а також мінімальні та максимальні значення часу вирішення часткових завдань судноводієм ( $t_1$  і  $t_2$ ).

Під час розроблення імітаційної моделі процесу діяльності судноводія кожній дузі графа поставлено у відповідність певне значення ймовірності переходу зі стану в стан, а також час виконання роботи для такого переходу. Для розрахунку часу перебування в цьому стані використано вираз (1.2).

Значення верхньої і нижньої меж часу перебування судноводія під час керування судном у різних станах отримано з досліджень, наведених у роботах [22; 100]. Згідно з цими даними, час перебування судноводія в різних станах може варіюватися в межах від кількох секунд до кількох хвилин, залежно від складності навігаційної ситуації та рівня кваліфікації судноводія.

Для аналізу різного роду помилок у діях судноводія в імітаційній моделі виділено такі типи операцій:

- 1 — сприйняття і декодування знакової інформації;
- 2 — ідентифікація інформації про надводну обстановку;
- 3 — виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах;
- 4 — недотримання типового алгоритму діяльності на технічних засобах;
- 5 — прийняття рішення;
- 6 — ведення радіообміну;
- 7 — постановка завдань членам екіпажу.

Таке виокремлення типів операцій у моделі дасть змогу провести її більш повне і всебічне дослідження з урахуванням особливостей діяльності судноводіїв.

На підставі виділених типів операцій судноводіїв дослідимо витрати часу під час їх виконання та діяльність судноводіїв в умовах виникнення різних за складністю помилкових дій.

У запропонованій моделі як припущення й обмеження не встановлювали порядок і послідовність виконуваних дій і характер помилок у кожному елементі структури. Тому переходи між станами  $p_i$  є рівномірними.

У запропонованій моделі нас цікавлять ті помилки, які можна виявити і мінімізувати у процесі проведення тренажерної підготовки. До них належать активні, змінні, постійні, оборотні, звичні, ситуативні та оптимізаційні. Помилки, пов'язані з недоліками спеціального програмного і математичного забезпечення та впливом людського фактора (наприклад, профвідбір, конструктивні помилки обладнання), розглядатися не будуть. Тоді переходи між подіями залежно від роду помилок будуть різними.

Розглянемо результати дослідження запропонованої моделі діяльності судноводія під час вирішення завдань керування судном.

Використовуючи розроблену модель, вдалося отримати оцінку часових витрат на виконання різного типу операцій, пов'язаних з окремими діями судноводія. Результати проведених досліджень моделі діяльності судноводія наведені на *рис. 1.6, 1.7*. Обробка результатів моделювання дала змогу визначити статистичні характеристики часу виконання операцій.

З отриманих даних дослідження діяльності судноводія можна зробити висновок, що в усіх типах операцій здобувач освіти може припускатися помилок. При цьому розподіл часу, що витрачається

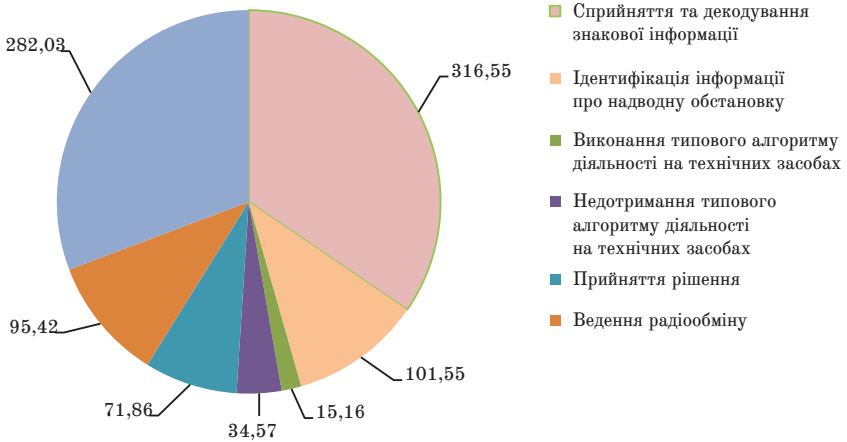


Рис. 1.6. Діаграма розподілу часу, що витрачається судноводієм у процесі керування судном (Джерело: розроблено авторами)

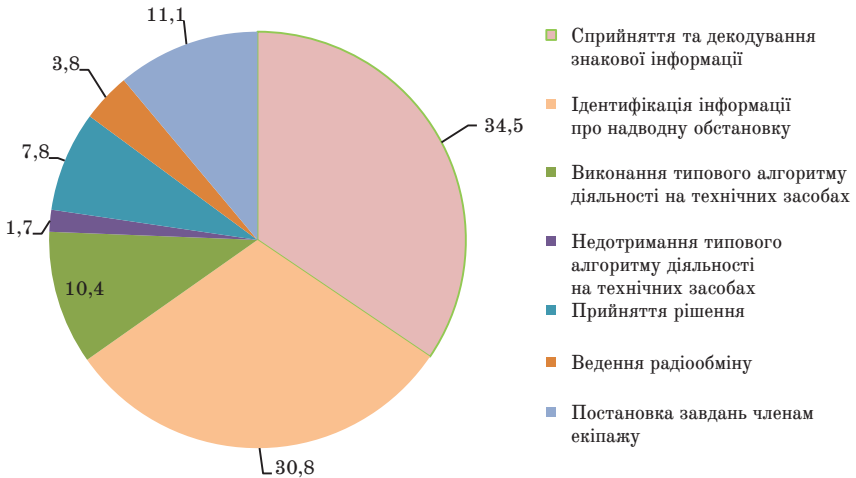
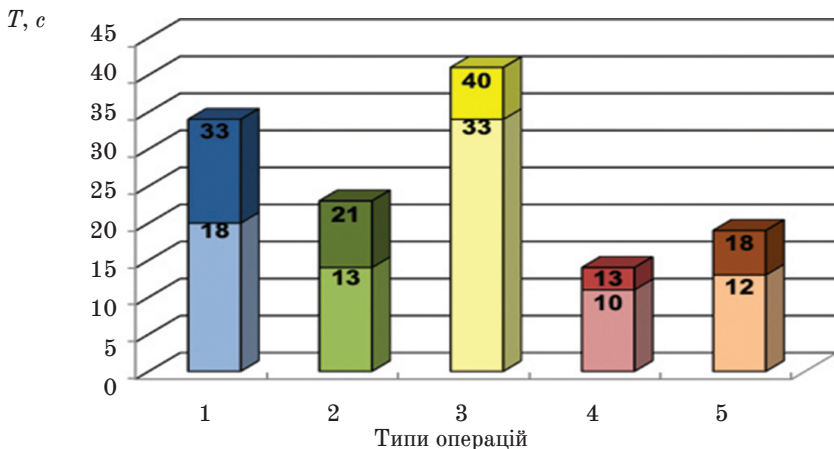


Рис. 1.7. Відносні витрати часу судноводієм у процесі керування судном (Джерело: розроблено авторами)

на виявлення і виправлення помилок за типами операцій, наведено на рис. 1.8.

Так, на помилки сприйняття і декодування знакової інформації витрачається від 18 до 33 с, на помилки ідентифікації інформації



*Рис. 1.8.* Розподілу час, що витрачається на виявлення і виправлення помилок за типами операцій (*Джерело: розроблено авторами*):

1 — помилки сприйняття і декодування знакової інформації; 2 — помилки ідентифікації інформації про надводну обстановку; 3 — помилки виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах; 4 — помилки прийняття рішення; 5 — помилки ведення радіообміну

про надводну обстановку — від 13 до 21 с, на помилки виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах — від 33 до 40 с, на помилки прийняття рішення — від 10 до 13 с, на помилки ведення радіообміну — від 12 до 18 с.

Однак при цьому треба враховувати відносні витрати часу судноводієм у процесі вирішення завдання керування судном (*див. рис. 1.7*).

Отримані результати свідчать, що для різних типів операції найбільший час займає робота з отримання та декодування повідомлень із різних джерел. Але не варто нехтувати й іншими типами операцій, оскільки помилки, допущені під час виконання будь-якого типу операцій у процесі роботи, можуть призвести до тяжких наслідків.

Проведений аналіз діяльності судноводія дає змогу виявити помилки, які можуть виникати в процесі його діяльності під час виконання певного типу операцій, — процедурні, управління обладнанням і помилки зв'язку. Помилка відноситься до категорії помилок управління обладнанням, якщо судноводій неправильно взаємодіє з обладнанням та органами управління. Помилка є процедурною,

якщо судноводій неправильно використовує або реалізує будь-яку процедуру (маневрування, швартування, взаємодію з лоцманом тощо). Помилками зв'язку вважаються помилки під час взаємодії судноводія з іншими членами екіпажу, суднами, береговими службами тощо. Ці категорії помилок у роботі можуть бути мінімізовані тільки з використанням тренажерів.

На підставі виявлених помилок у процесі діяльності судноводія можна визначити подальші шляхи вдосконалення систем інформаційного забезпечення його тренажерної підготовки. Зокрема можливе розроблення перспективних тренажерних комплексів з автоматизованою системою управління якістю підготовки операторів. Вона дасть змогу визначити ступінь підготовленості судноводія до роботи на реальному об'єкті.

Проведений аналіз діяльності судноводія під час керування судном у різних умовах дав змогу виокремити особливості його роботи, розкрити основні чинники, що можуть впливати на процес діяльності, та розкрити показники якості діяльності судноводія. До них належать часові, точнісні та семантичні показники.

Тому під час проєктування тренажерів для підготовки судноводіїв з управління судном у різних умовах мають бути реалізовані такі основні складові їхньої діяльності:

- умови роботи операторів;
- зовнішнє середовище функціонування суден у взаємодії з іншими об'єктами;
- навчання, контроль і оцінка дій операторів.

Аналіз процесу професійної підготовки судноводія виявив суттєву прогалину в розробці та проєктуванні перспективних тренажерних комплексів (систем) для професійної підготовки судноводіїв. Це пов'язано з тим, що сучасні тренажерні комплекси не завжди відповідають вимогам і потребам судноводіїв, що може призвести до неефективної підготовки та зниження рівня безпеки на морі.

Зокрема дослідження засвідчили, що наявні тренажерні комплекси не враховують останніх досягнень у галузі морської техніки, інформаційних технологій і психології, що може призвести до відставання від сучасних вимог і стандартів. Крім того, тренажерні комплекси часто не адаптовані до індивідуальних потреб судноводіїв, що може призвести до зниження ефективності навчання і незадоволеності судноводіїв.

Таким чином, необхідно розробити нові тренажерні комплекси, які враховуватимуть останні досягнення в галузі морської техніки,

інформаційних технологій і психології, а також адаптовані до індивідуальних потреб судноводіїв. Це дасть змогу підвищити ефективність професійної підготовки судноводіїв і поліпшити рівень безпеки на морі.

Таким чином, наразі видається необхідним для підготовки судноводіїв розв'язати питання проєктування і розроблення перспективних тренажерних систем на основі інтелектуальних інформаційних технологій.

Питання, пов'язані з розробленням автоматизованої підсистеми контролю операторської діяльності наведені в роботах [92—94]. При цьому необхідні додаткові дослідження для створення систем професійної підготовки судноводія з урахуванням особливостей і обмежень.

У результаті проведених досліджень виявлено такі невирішені питання, що потребують подальшого вивчення:

1. Необхідно створити ефективний метод формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводіїв під час тренажерної підготовки. Цей метод дасть змогу розробити стратегію індивідуального або групового навчання і розрахувати прогноз здатності до навчання, що сприятиме підвищенню якості підготовки судноводіїв.

2. Потрібне розроблення методу формування інформаційного середовища навчання судноводіїв у тренажерних комплексах із використанням ІТ. Цей підхід дасть змогу формувати початкові умови відображення елементів обстановки відповідної інформаційної моделі залежно від значень вхідної інформації та з урахуванням особливостей підготовки кожного оператора, що зробить процес навчання більш ефективним і персоналізованим.

3. Необхідно розробити метод оцінювання результатів діяльності судноводія під час тренажерної підготовки, що дає змогу інтегрально оцінити різні показники якості діяльності на основі статистичних даних. Цей метод забезпечить об'єктивність оцінювання якості підготовки і дасть змогу виробляти обґрунтовані рекомендації щодо подальшого розвитку і вдосконалення навичок судноводіїв.

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ

### 2.1. Формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки

Широкий діапазон умов плавання суден різних класів вимагає створення сучасної системи підготовки судноводіїв [89—93]. Провідну роль у ній мають відігравати тренажери, які використовують комплекси імітаційних моделей та забезпечують якісне управління підготовкою судноводіїв. Крім моделювання різноманітних умов плавання, наведений підхід дозволяє реалізувати імерсійне інформаційне середовище з елементами інклюзивного підходу для відпрацювання практичних завдань управління судном. Представлена система дозволяє коригувати індивідуальні програми навчання і визначати ступінь готовності здобувачів освіти до практичної діяльності в реальних умовах.

Однозначний взаємозв'язок між рівнем професіоналізму фахівця та якістю його тренажерної підготовки на практиці підтверджується зростанням потенціалу системи «судноводій — екіпаж — судно». Ключова роль у процесі набуття професійної компетентності судноводія відводиться використанню технологій ШІ в АСУ якістю підготовки судноводія [22; 28; 29].

Компетенція — це сукупність взаємопов'язаних знань, умінь, навичок і способів діяльності фахівця, що забезпечують якісну продуктивну діяльність по відношенню до певних предметів і процесів. Наявність й особисте ставлення фахівця до відповідної компетенції і предмету діяльності називається компетентністю [105].

Професійна теоретична і практична підготовленість, спроможність вирішувати виконавські і творчі завдання на судні, виконання прямих службових обов'язків, ціннісні орієнтації, особистісні якості і практичні навички складають професійну компетентність судноводія [106].

Рівень професійної підготовки судноводіїв в процесі тренажерної підготовки оцінюється за багатьма критеріями професійної компетентності — обсягом, якістю і міцністю засвоєння знань, умінь

і навичок, мотивацією і активністю судноводія, якістю виконання професійно орієнтованих завдань [83].

Багатокритеріальна оцінка рівня професійної підготовки судноводія дозволяє сформулювати стратегію індивідуального або групового навчання і спрогнозувати результат. Це досягається шляхом створення автоматизованої системи управління якістю підготовки (практичної і теоретичної) судноводіїв у складі тренажерних комплексів (рис. 2.1) [87—96].

Запропонована система передбачає вхідне, проміжне та підсумкове тестування здобувачів освіти. Тестування та оцінювання результатів навчання — це складний процес, одним з основних етапів якого є підбір та узгодження тестів між собою. При цьому необхідно також враховувати особистісні характеристики судноводіїв, їх попередній досвід, складність вирішуваних завдань і представлених тестів, валідність тестів до характеристик і завдань, що тестуються. У роботах [107; 108] окремо вивчений перелік і враховані властивості тестів, їх взаємний вплив на процес навчання.

Розглянемо етапи контролю за діяльністю здобувачів освіти у процесі тренажерної підготовки. На початку контролюються послідовність, часові характеристики і відповідність дій судноводія вирішуваному практичному завданню у процесі взаємодії здобувачів з органами управління тренажером.

Представимо детально формалізацію процесу управління формуванням індивідуальних завдань для перевірки заданих характеристик судноводія.

Нехай у базі даних (БД) зберігається інформація про професійні компетенції судноводія, які він повинен набути в процесі навчання —  $Bd = U_{i=1}^n \beta_i$ . Кожній компетенції поставимо у відповідність набір характеристик, описаних кортежем критеріїв:

$$\beta_i = \{\chi_{i_1}, \chi_{i_2}, \dots, \chi_{i_k}\}. \quad (2.1)$$

Тоді  $X = U_{j=1}^m \chi_j$  — множина, що складається з кортежів з характеристиками професійних компетенцій.

Метою тестування є виявлення ступеня реалізації критеріїв при формуванні компетенції. Однак один і той самий критерій може бути перевірений різними тестами (наборами тестів). Кожен тест (набір тестів) характеризується точністю і повнотою визначення характеристик судноводія.

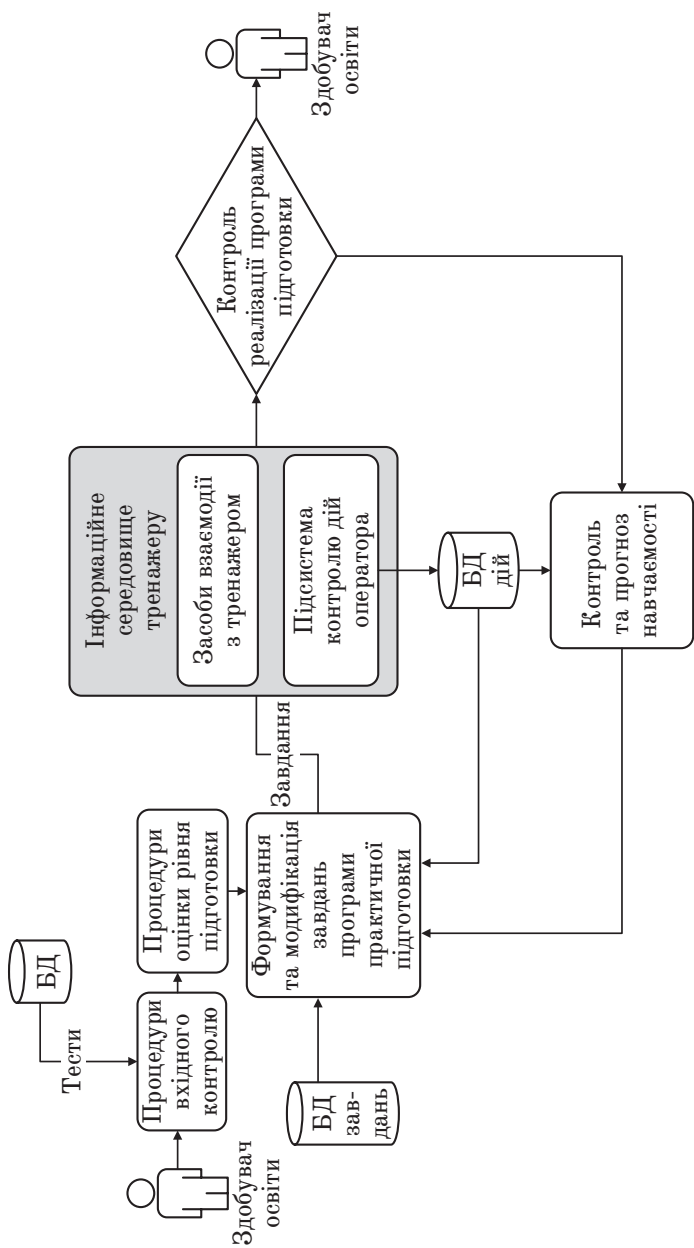


Рис. 2.1. Структура моделі управління якістю підготовки судноводія на тренажері (Джерело: розроблено авторами)

Нехай  $\tau^{\chi}$  — тест (набір тестів), необхідний для оцінки реалізації критерію компетентності  $\chi_j$ ;  $\tau^{\beta_i}$  — тест (набір тестів), необхідний для оцінки ступеня реалізації компетентності;  $T_{\mathcal{X}} = \bigcup_{j=1}^m \tau^{\chi_j}$  — множина тестів (наборів тестів), які здатні перевіряти окремі критерії із заданими рівнями точності та повноти;  $T_{Bd} = \bigcup_{i=1}^n \tau^{\beta_i}$  — множина тестів (наборів тестів), які можуть перевірити індивідуальні професійні компетенції діяльності судноводія.

Тоді вся множина тестових методик представляється у вигляді:

$$T = \langle T_{\mathcal{X}}, T_{Bd} \rangle. \quad (2.2)$$

Нехай є деяка тестова методика  $\tau$ . Тоді  $X_{\tau} = \{x_{\tau_1}, x_{\tau_2}, \dots, x_{\tau_{k_i}}\}$  — множина критеріїв, а  $Bd_{\tau} = \{b_{\tau_1}, b_{\tau_2}, \dots, b_{\tau_{n_i}}\}$  — множина професійних компетенцій діяльності судноводія, які потрібно перевірити з використанням тесту (набору тестів). Задаючи кількість  $k_i$  критеріїв, які можуть бути перевірені за допомогою тесту (набору тестів)  $\tau$ , і кількість  $n_i$  професійних компетенцій судноводія, які можуть бути перевірені за допомогою  $\tau$ , можна формально задати процес вибору  $\tau$ :

$$\tau = \{\chi_{\tau_1}, \chi_{\tau_2}, \dots, \chi_{\tau_{k_i}}, \beta_{\tau_1}, \beta_{\tau_2}, \dots, \beta_{\tau_{n_i}}\}. \quad (2.3)$$

Здатність тесту виявляти й оцінювати ту характеристику, для якої він розроблений, оцінюється валідністю, коефіцієнт якої перебуває в діапазоні від 0 до 1. Різні поєднання тестів впливають на коефіцієнт валідності один одного, що слід враховувати під час вибору тестів для оцінювання характеристик професійних компетенцій [4; 29]. Звідси випливає парадоксальний висновок, що жоден тест або їхній набір не відповідають на запитання про повноту реалізації характеристики. Це положення також слід враховувати під час вибору тестів або їхньої множини для оцінювання характеристик компетенцій.

Для оцінювання якості тесту (наборів тестів) опишемо ймовірність  $\rho$  визначення тієї чи іншої компетенції або сукупності компетенцій із заданим рівнем якості за допомогою обраної методики. Дана характеристика є постійною і встановлює залежність між коефіцієнтом прогностичної (поточної) валідності  $\Lambda$  та оцінкою надійності тесту  $H$  (набору тестів) даної методики [107; 108]:

$$\rho = \Lambda \cdot H. \quad (2.4)$$

При виборі способу представлення коефіцієнта валідності враховується можливість досягнення компетенції судноводія з оцінкою надійності тесту  $H$ .

Представимо узагальнену структурну модель тестової методики як:

$$M_{\tau} = \langle X_{\tau}, Bd_{\tau}, H_{\tau}, \Lambda_{\chi_{\tau}}, V_{b_{\tau}}, R_{\tau} \rangle, \quad (2.5)$$

де  $V_{b_{\tau}}$  — коефіцієнт валідності даного тесту (наборів тестів) за окремою професійною компетенцією;

$R_{\tau} = (r_1(\tau), r_2(\tau), \dots, r_k(\tau))$  — необхідні ресурси для реалізації процесу тестування на підставі обраних тестів або їхніх наборів.

Запропонований формальний опис характеристик професійних компетенцій і відповідних тестів (наборів тестів) для їхнього діагностування дає змогу автоматизувати процес їхнього добору з урахуванням взаємного впливу фактора валідності тестів та їхніх наборів і обмежень, які накладаються на ресурсне забезпечення тестування. При цьому приймемо таке припущення: всі тести виконуються послідовно, а необхідні ресурси використовуються наростаючим підсумком.

Тоді модель тестування на основі відібраних тестів (наборів тестів) представимо коротко:

$$Q_{\bar{\tau}} = \langle \bar{\tau}, X_{\bar{\tau}}, H_{\bar{\tau}}, Bd_{\bar{\tau}}, P_{\bar{\tau}}, V_{\chi_{\bar{\tau}}}, V_{\beta_{\bar{\tau}}}, R_{\bar{\tau}} \rangle, \quad (2.6)$$

де  $\bar{\tau}$  — множина обраних тестів;

$X_{\bar{\tau}}$  — набір критеріїв, що перевіряються за результатами застосування множини обраних тестів  $\bar{\tau}$ , що спричиняє їхнє неминуче коригування через надмірність оцінок і перетину результатів тестів;

$H_{\bar{\tau}}$  — оцінки надійності набору тестових методик —  $H_{\bar{\tau}} \in [0; 1]$ ;

$Bd_{\bar{\tau}}$  — перелік професійних компетенцій судноводія, оцінюваних системою;

$P_{\bar{\tau}}$  — вектор оцінок імовірностей точного визначення заданих критеріїв за допомогою тестів;

$V_{\chi_{\bar{\tau}}}$  — коефіцієнт валідностей кожної професійної компетенції, що враховує значення валідностей усіх наборів тестів за кожною з професійних компетенцій судноводія;

$V_{\beta_{\bar{\tau}}}$  — вектор коефіцієнтів валідностей за кожним із критеріїв, розрахований на підставі валідностей усіх методик набору за кожним із критеріїв, змінюється від 0 до 1;

$R_{\bar{\tau}}$  — набір множини ресурсів, необхідних для реалізації заданого набору тестів,  $R_{\bar{\tau}} = (L, T, S)$ , де:  $L$  — оцінка застосовності для кожного тесту (набору);  $L \in [0; 100]$ ;  $T$  — оцінки часових витрат на реалізацію тесту (набору тестів); вони є адитивними і складаються з часу проведення кожного тесту;  $S$  — фінансові витрати на проведення тесту (набору тестів).

Зазначені обставини дають змогу доволі просто розрахувати загальний коефіцієнт надійності набору тестів за обов'язкового послідовного застосування їх до об'єкта, що тестується.

Тоді коефіцієнт надійності  $G_{\bar{\tau}}$  всього набору тестів  $Q_{\bar{\tau}}$  дорівнює добутку коефіцієнта надійності  $g_{\tau}$  кожного тесту [132]:

$$G_{\bar{\tau}} = \prod_{\tau=1}^n g_{\tau}. \quad (2.7)$$

Таким чином, професійний портрет  $A$  судноводія можна представити набором професійних компетенцій  $B(A)$ , описуваних набором критеріїв  $X(A)$ .

Якщо коефіцієнт валідності професійного портрета  $A$  дорівнює  $V(A, \bar{\tau})$ , а сам портрет представлений за допомогою набору тестів, що описують відповідні характеристики  $\bar{\tau}$ , то задача безумовної оптимізації максимізації валідності професійного портрета  $A$  судноводія відносно потрібного портрета, згідно з [22; 108], має вигляд:

$$\max_{\bar{\tau}, X(A) \subset X_{\bar{\tau}}} V(A, \bar{\tau}), \quad (2.8)$$

а критерій максимізації валідності при накладанні обмеження на ресурси визначаються за виразом:

$$\max_{\bar{\tau}, X(A) \subset X_{\bar{\tau}}} V(A, \bar{\tau}); r_1(\bar{\tau}) \leq r_1, \dots, r_k(\bar{\tau}) \leq r_k, \quad (2.9)$$

для всіх  $i = 1, 2, \dots, k$ .

На базі запропонованої моделі розроблено комплекс взаємопов'язаних оптимізаційних задач глобальної й умовної оптимізації. Це дає змогу перейти до розроблення алгоритмів розв'язання задачі вибору тестів (наборів тестів) із виявлення ступеня реалізованості характеристик професійних компетенцій судноводія з урахуванням ступеня їхньої вираженості, валідності тестів і необхідних матеріальних витрат (рис. 2.2).

Приклад постановки задачі вибірки тестових методик.

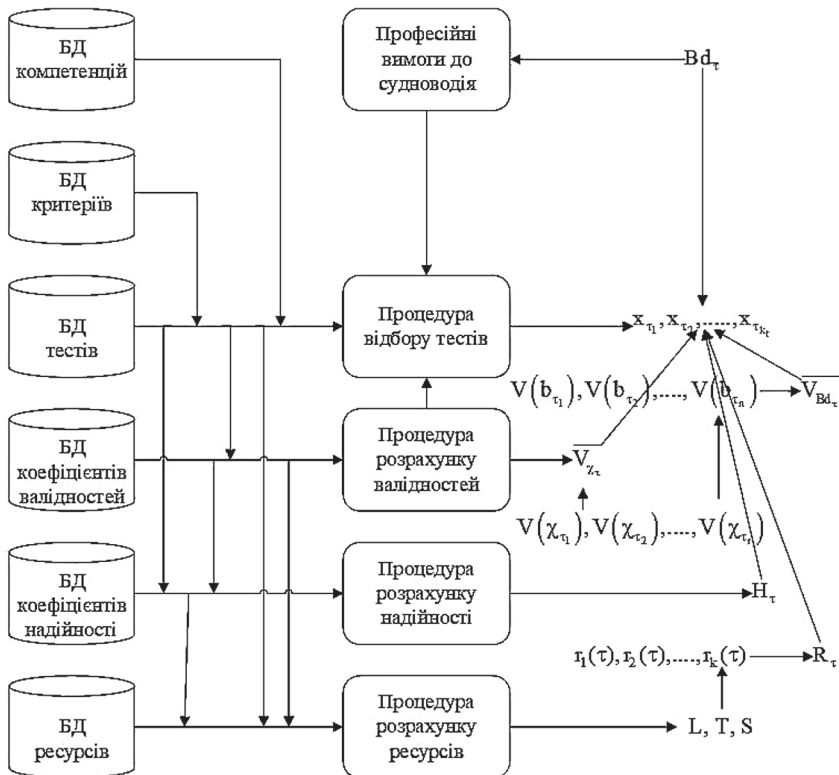


Рис. 2.2. Модель взаємозв'язку характеристик тестових методик для перевірки ступеня вираженості професійних компетенцій судноводія  
(Джерело: розроблено авторами)

Нехай існує задана множина тестових методик  $t$  (таблиця 2.1). Необхідно виконати вибірку  $k$  ( $k = \text{const}$ ) тестів із множини  $\bar{\tau}$  методик для знаходження максимуму функції  $\max F(A)$ , яка задана в такому вигляді:

$$\begin{aligned}
 F(A) = & \sum_{i=1}^k H_i + \sum_{i=1}^k V(\chi_{\tau_i}) + \sum_{i=1}^k L_i - \\
 & - \sum_{i=1}^k T_i - \sum_{i=1}^k S_i \rightarrow \max.
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

при обмеженнях.

Середнє значення коефіцієнтів валідностей тесту (наборів тестів) за кожною професійною компетенцією подається виразом:  $\overline{V_{Bd_{\tau}}} = (V(b_{\tau_1}), V(b_{\tau_2}), \dots, V(b_{\tau_r}))$ ; середнє значення коефіцієнтів валідностей даного тесту (наборів тестів) за кожним критерієм професійної компетенції, що перевіряється, можна визначити виразом:  $\overline{V_{\chi_{\tau}}} = (V(\chi_{\tau_1}), V(\chi_{\tau_2}), \dots, V(\chi_{\tau_r}))$ .

$$\sum_{i=1}^{k_{\text{зад}}} L_i \geq L_{\text{зад}}; \quad \sum_{i=1}^{k_{\text{зад}}} T_i \leq T_{\text{зад}}; \quad \sum_{i=1}^{k_{\text{зад}}} S_i \leq S_{\text{зад}};$$

$$\sum_{i=1}^{k_{\text{зад}}} V(\chi_{\tau_i}) \geq \sum_{i=1}^{k_{\text{зад}}} V(b_{\tau_i}).$$

Для знаходження максимуму функції (2.10) проведемо нормалізацію змінних таблиці 2.1 за стовпчиками.

Т а б л и ц я 2.1

*Приклад множини тестових методик з їхніми характеристиками*

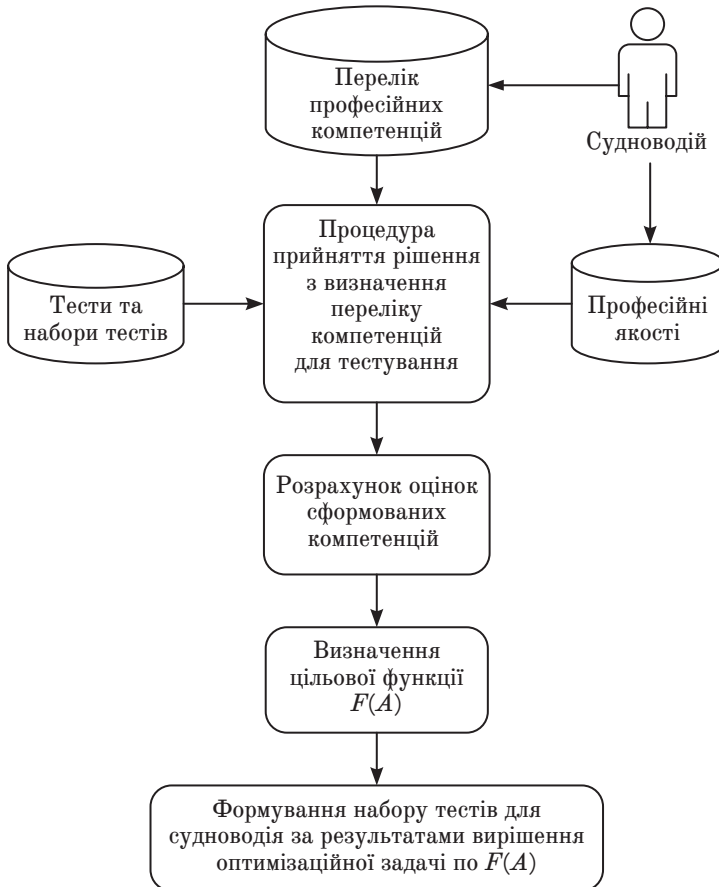
№ з/п	$\tau$	$H$	$\overline{V_{\chi_{\tau}}}$				$\overline{V_{B_{\tau}}}$				$R$		
			$\chi_{\tau_1}$	$\chi_{\tau_2}$	...	$\chi_{\tau_r}$	$b_{\tau_1}$	$b_{\tau_2}$	...	$b_{\tau_n}$	$L$	$T$	$S$
1	1	0,1	0	0,7	...	0,45	0,93	0,60	...	0,29	10	12	4
2	3	0,24	0,29	0,56	...	0,42	0,86	0,53	...	0,18	54	23	7
3	3	0,9	0,79	0,87	...	0,09	0,64	0,49	...	0,70	34	5	6
4	4	0,2	0,79	0,12	...	0,54	0,36	0,66	...	0,67	100	10	8
5	5	0,99	0,84	0,00	...	0,41	0,91	0,52	...	0,91	12	56	98
6	6	0,4	0,36	0,79	...	0,50	0,82	0,39	...	0,74	69	25	5
7	7	0,3	0,16	0,65	...	0,34	0,77	0,05	...	0,86	95	12	13
8	8	0,6	0,79	0,22	...	0,21	0,28	0,67	...	0,68	34	60	4
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
100	M	0,5	0,79	0,99	...	0,80	0,88	0,29	...	0,28	57	78	10

*Джерело: розроблено авторами*

Час розв'язання задачі при відборі 3 тестів із 10 становив 0,0082 с; при відборі 3 тестів зі 100 — 5,98 с; при відборі 3 тестів із 200 — 49,98 с.

Для скорочення часу розв'язання можливе розбиття простору пошуку на менші блоки або використання засобів розпаралелювання процесу розв'язання. Однак на практиці необхідність вибору порівняно невеликої кількості тестів із набору в більш ніж 100 виникає рідко.

На *рис. 2.3* наведено структуру методу автоматизації процесу вироблення рішень з управління тестуванням здобувача освіти



*Рис. 2.3.* Структура методу формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія під час тренажерної підготовки (*Джерело: розроблено авторами*)

з урахуванням взаємозв'язку характеристик аналізу та їхнього взаємного впливу.

Метод автоматизації процесу вироблення рішень з управлінням тестуванням здобувача освіти на кожному з етапів підготовки дає змогу постійно контролювати рівень підготовки та динаміку її розвитку. Порівняння поточного рівня підготовки судноводіїв із заданим дозволяє системі планувати стратегію навчання з подальшим розрахунком прогнозу здатності до навчання. Якщо поточний рівень підготовки не нижчий за заданий, то здійснюється перехід до наступного етапу тренування (нова вправа або ускладнення умов її виконання). В іншому разі відбувається повторне відпрацювання завдання, часто зі зміною структури або спрощенням умов його виконання.

Для цього в перспективних тренажерах, побудованих із використанням ІТ, створюють інтерактивне та/або адаптивне середовище навчання, що забезпечує практичну підготовку судноводія для всього спектра вирішуваних завдань. Тому подальшим напрямком досліджень є формування інформаційного середовища навчання судноводія на тренажері з включенням модуля модифікації умов на підставі даних фактичного рівня підготовки здобувача освіти.

## **2.2. Відбір інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу**

Результатом оцінювання рівня підготовки здобувача освіти і розроблення для нього навчальної стратегії є етап синтезу адаптивного інформаційного оточення для навчання судноводіїв на тренажері. Адаптивність означає врахування особливостей вирішуваних завдань, рівня підготовки та індивідуальних успіхів (невдач) у навчанні.

З набуттям судноводієм необхідних навичок тренажерний комплекс змінює (ускладнює) інформаційне середовище навчання. Зміна параметрів обстановки у широких діапазонах сприяє формуванню у судноводіїв стійких адаптивних навичок, що дають змогу приймати адекватні рішення у складних непередбачуваних умовах обстановки і грамотно виконувати посадові обов'язки на практиці. Також це дозволяє здійснювати еволюційний рух здобувача освіти від порівняно простого до складнішого й оптимізувати обсяг наданої інформації на різних етапах підготовки [91].

Тому сучасні тренажери мають закладену функцію досить повно відтворювати всі ключові етапи діяльності судноводія під час керування реальними суднами в різних умовах [89; 91; 92]:

- виявлення і розпізнавання об'єкта;
- ідентифікація об'єкта;
- прийняття рішення;
- реалізація рішення;
- перевірка виконання прийнятого рішення.

Ефективне формування та відточування професійних умінь і навичок судноводіїв під час тренажерної підготовки базується на ретельному аналізі всіх етапів їхньої діяльності. Інформаційна модель має відтворювати умови настільки реалістично, щоб візуальні та слухові відчуття, вестибулярні та рухові реакції здобувача освіти повністю відповідали реальним [109; 110].

Тільки це дозволить перенести набуті на тренажері навички керування справжнім судном у реальних умовах плавання, а тренажерна підготовка стане ефективним інструментом формування справжнього професіоналізму судноводіїв. Отже необхідно детально відтворювати всі елементи реального судноводіння — від сприйняття навколишньої обстановки до виконання необхідних маніпуляцій на пульті керування. Тому першочерговим завданням тренажерної підготовки судноводіїв є розробка гнучкого інтелектуального середовища, що дає змогу адаптивно керувати освітнім процесом, а саме:

- формувати інформаційне оточення здобувача освіти;
- змінювати ситуації та ускладнювати умови виконання завдань;
- створювати перешкоди і проблеми в управлінні судном;
- вибудовувати вправи за наростаючою складністю.

Навички судноводія необхідно ранжувати за ступенем важливості, а характер практичних завдань — індивідуалізувати з урахуванням рівня підготовки здобувача освіти і націленості на розвиток саме його професійних компетенцій [40; 52; 106].

Досвід розроблення тренажерів для різних предметних галузей свідчить, що найкращих результатів під час реалізації адаптивної системи навчання вдається досягти за використання елементів нечіткої логіки [6; 7; 17; 96; 99; 108]. Використання в технічних системах нечіткого моделювання дає змогу більш натуралістично відображати реальні процеси, що протікають, порівняно з традиційними аналітичними моделями керування. Нечіткі моделі дозволяють

гнучко керувати інформаційним середовищем тренажера, безперервно підлаштовуючи його складність під поточні можливості здобувача освіти. Це дає змогу максимально ефективно використовувати час тренувань і домагатися формування стійких навичок.

Отже застосування інтелектуальних адаптивних технологій у тренажерних комплексах для підготовки судноводіїв дає змогу вивести цей процес на якісно новий рівень, забезпечуючи індивідуальний підхід до кожного здобувача освіти, і підвищити ефективність тренувального процесу.

Специфіка діяльності судноводія визначається тим, що він позбавлений можливості цілком безпосередньо спостерігати за станом керованого об'єкта й елементами обстановки і змушений користуватися інформацією, що надходить до нього різними каналами та лініями зв'язку. Тобто судноводій має справу зі змішаною інформаційною моделлю об'єкта управління та елементами реальної надводної обстановки [90; 108; 110]. Тому тренажер має забезпечити штучне натуралістичне відтворення умов і чинників у процесі роботи судноводія під час керування реальним об'єктом.

Сучасні ІТ дозволяють створювати реалістичні моделі, що максимально точно імітують реальні процеси керування і забезпечують їхню гнучку адаптацію до рівня підготовки та дій здобувачів освіти. Інтелектуальні тренажерні комплекси задають необхідний склад, темп оновлення і спосіб подання інформації, гнучко підлаштовуючись під індивідуальні або групові особливості здобувача освіти й обрану стратегію навчання [93].

Застосування ІТ у тренажерних комплексах судноводіння дає змогу максимально наблизити віртуальне середовище до реальних умов плавання. Гнучке управління інформаційним наповненням тренажера дозволяє безперервно адаптувати складність вправ під поточний рівень підготовки здобувача освіти, домагаючись стійкого формування необхідних професійних навичок. Таким чином, інтелектуальні тренажерні комплекси стають ефективним інструментом підготовки висококваліфікованих судноводіїв.

Для вибору на навчальному автоматизованому робочому місці (АРМ) початкових умов відображення ІЕ, що імітують надводну обстановку й об'єкт керування, створимо інтелектуальну систему (ІС) (рис. 2.4) [24].

В умовах нестохастичної невизначеності, високої динаміки зміни надводної обстановки прийнятним є використання інтелектуальних ІТ, що являють собою сукупність прийомів, способів і

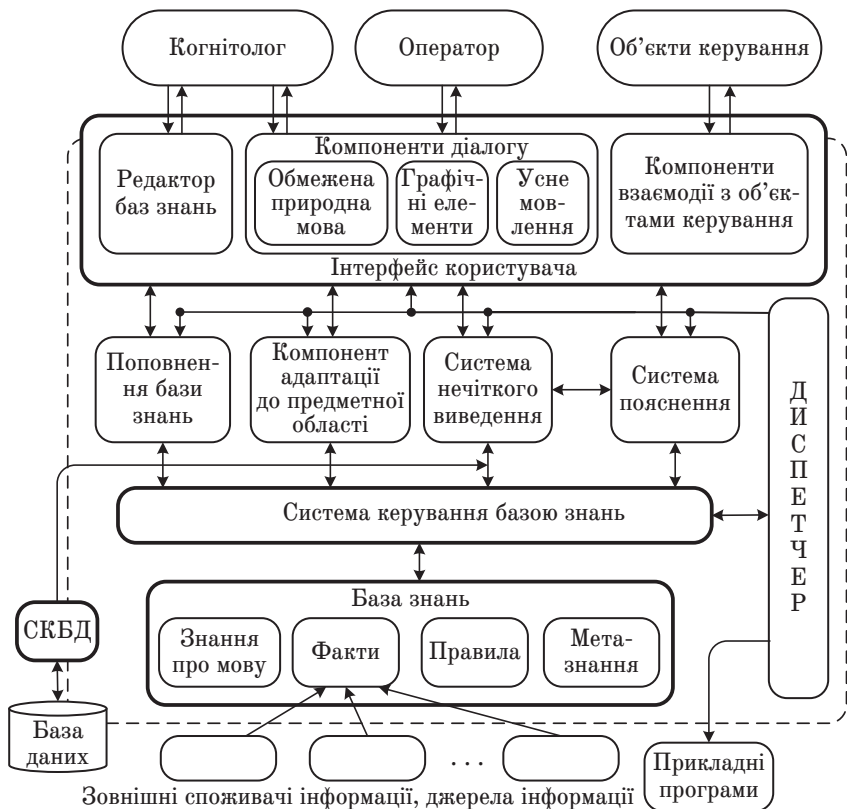


Рис. 2.4. Структура інтелектуальної системи (Джерело: розроблено авторами)

методів виконання функцій зберігання, оброблення, передавання й використання знань. Розглянемо процес формування інформаційного середовища навчання судноводіїв у процесі тренажерної підготовки.

Початковими даними для ІС є перелік вправ відповідно до програми підготовки, рівень підготовки судноводія і набір підготовлених сценаріїв виконання вправ у вигляді певних значень параметрів судна, силової установки, маневрених характеристик, елементів надводної та навігаційної обстановки. Дані є основою блоків «Основні завдання» і «Фактори ситуації».

На підставі початкових даних ІС формує варіант інформаційної моделі та умови відображення елементів обстановки. Дані з виходу ІС надходять на модуль імітаційного моделювання (блоки моделювання руху судна, роботи РЛС та елементів навколишнього середовища), де зчитується обраний сценарій вправи та моделюються всі вказані елементи (рис. 2.5) [24].

Після відпрацювання дій судноводія на тренажері проводять їхній ретельний контроль і аналіз для оцінювання відповідності його дій вимогам виконаних завдань, виявлення причин помилок або недостатньої підготовки. Такий аналіз також допоможе визначити ступінь готовності того, хто навчається, до роботи в реальних умовах і момент, коли він може переходити до відпрацювання наступного тренувального завдання [80; 81; 83].

Інтелектуальна система формує три варіанти інформаційної моделі —  $y_1$  = «спрощена»,  $y_2$  = «проста»,  $y_3$  = «складна», які відрізняються порогоми віднесення до кожної ситуації і подаються множиною початкових умов відображення елементів надводного оточення  $y_i = \{d_1, d_2, \dots, d_8\}$ ,  $i = 1, 2, 3$  де  $d_1, d_2$  — лінгвістичні значення виходів.

Пороги віднесення відрізняють кожну модель за значення лінгвістичних змінних, у результаті обробки яких судноводієві надається інформаційна модель, що відрізняється ступенем складності враховуваних ситуацій, навігаційних та лоцманських умов, щільністю судноплавства, умовами видимості тощо.

Основними компонентами інтелектуальної системи є база знань (БЗ), призначена для формального представлення практичних і нормативних знань або знань експертів, і підсистема нечіткого видення (НВ).

База знань являє собою кінцеву множину правил нечітких продукцій:

ПРАВИЛО\_1:

IF  $a_1 = A_{1,1}$  AND  $a_2 = A_{2,1}$  AND  $a_3 = A_{3,1}$   
 AND  $a_4 = A_{4,1}$  AND  $a_i = A_{i,1}$  THEN  $y = d_1$   
 ELSE

ПРАВИЛО\_2:

IF  $a_1 = A_{1,2}$  AND  $a_2 = A_{2,2}$  AND  $a_3 = A_{3,2}$   
 AND  $a_4 = A_{4,2}$  AND  $a_i = A_{i,2}$  THEN  $y = d_2$   
 ELSE

...

(2.11)

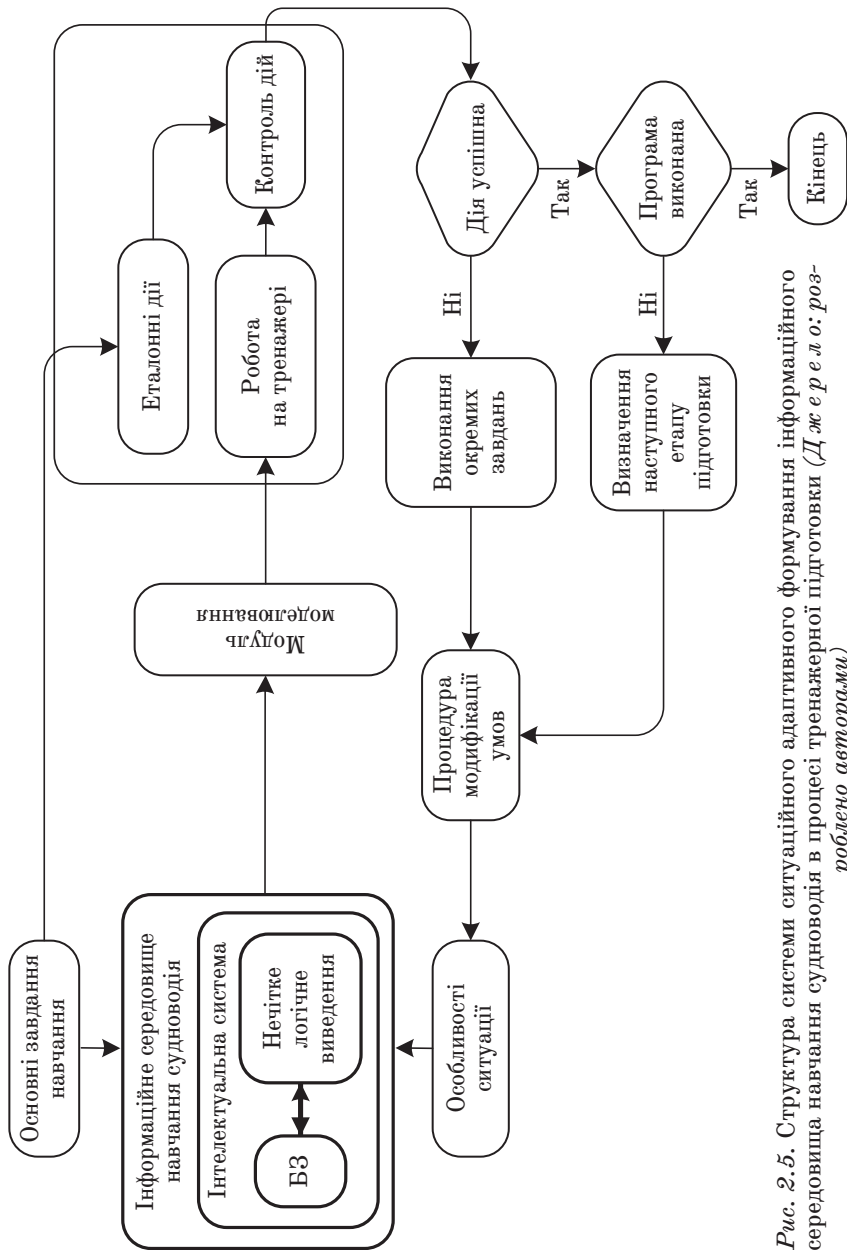


Рис. 2.5. Структура системи ситуативного адаптивного формування інформаційного середовища навчання судноводія в процесі тренажерної підготовки (Джерело: розроблено авторами)

ПРАВИЛО  $_n$ :

IF  $a_1 = A_{1,n}$  AND  $a_2 = A_{2,n}$  AND  $a_3 = A_{3,n}$   
AND  $a_4 = A_{4,n}$  AND  $a_i = A_{i,n}$  THEN  $y = d_n$   
ELSE.

Процес НВ, базуючись на ключових поняттях теорії нечітких множин — функція приналежності (ФП), лінгвістична змінна, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації та нечіткої композиції [97], є алгоритмом отримання підсумкових виведень на основі нечітких умов і правил нечіткої логіки.

В умовах невизначеності, коли початкові дані та правила є неточними, для прийняття рішення з управління складними системами, поведінку яких важко описати точними математичними моделями, використовують НВ. Відомі процедури нечіткого виведення Мамдані, Такагі-Сугено, Ларсена, Цукамото та ін. [97; 98; 102; 103].

В інтелектуальних тренажерних комплексах нечітке логічне виведення використовується для гнучкого управління інформаційним середовищем навчання у реальному часі. Оптимальні параметри відображуваної ситуації визначаються поточними діями здобувачів освіти, і правилами з БЗ. Безперервна синхронізація складності тренувальних завдань і рівня підготовки кожного судноводія дає змогу досягти максимальної ефективності навчання.

Алгоритми логічних виведень принципово відрізняються наявністю нечіткостей у правих або лівих частинах правил. Так, у нечіткій моделі Мамдані використовують набір лінгвістичних правил, отриманих від експерта, що містять у консеквентах нечіткі змінні [111].

Розглянемо модель Мамдані, що містить правила вигляду

$$\text{IF } a_1 = A_{1,1} \text{ AND } a_2 = A_{2,1} \text{ THEN } y = d_1 \text{ ELSE,} \quad (2.12)$$

$$\text{IF } a_1 = A_{1,2} \text{ AND } a_2 = A_{2,2} \text{ THEN } y = d_2, \quad (2.13)$$

де  $a_1, a_2$  — входи;

$y$  — вихід;

$A_{1,1}, A_{2,1}, A_{1,2}, A_{2,2}$  — лінгвістичні значення входів;

$d_1, d_2$  — лінгвістичні значення виходів.

Перший індекс при лінгвістичних значеннях входів означає номер входу, другий індекс — номер правила. Лінгвістичні значення виходу мають один індекс, який є номером правила. Графічна

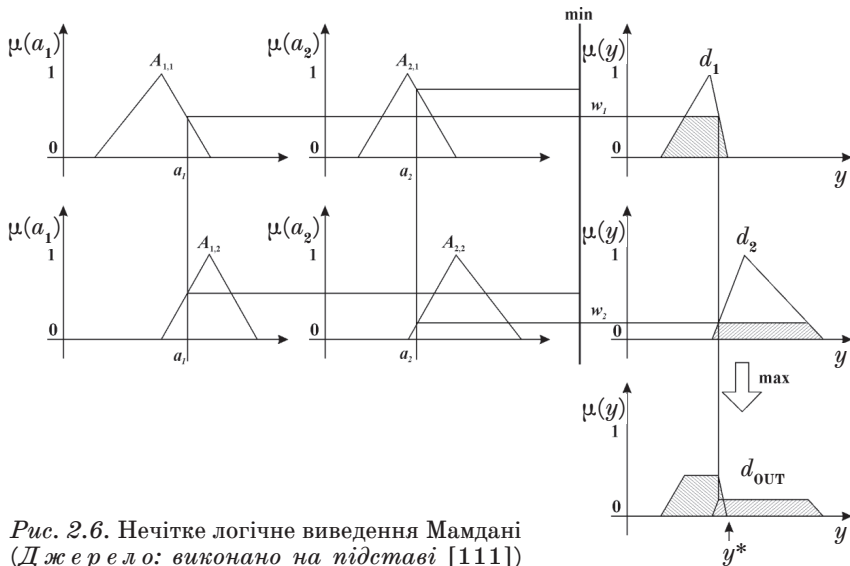


Рис. 2.6. Нечітке логічне виведення Мамдані  
(Джерело: виконано на підставі [111])

ілюстрація процедури нечіткого виведення Мамдані наведена на рис. 2.6.

Ступінь виконання правил ( $w_i$ ) обчислюється як:

$$w_i(a_1, \dots, a_{n_a}) = \bigwedge_{j=1}^{n_a} \mu_{i,j}(a_j), \quad i = \overline{1, n_R}, \quad (2.14)$$

де  $\bigwedge$  — нечітка операція кон'юнкції, що відповідає оператору «І»;  
 $n_a$  — кількість входів;  
 $\mu_{i,j}(a_j)$  — ФП на  $j$ -му вході в антецеденті  $i$ -го правила;  
 $n_R$  — кількість правил.

Після визначення ступеня виконання правил за допомогою операції імплікації обчислюються нечіткі значення консеквентів правил (заштриховані області функцій приналежності для  $d_1$  і  $d_2$  на рис. 2.6).

Нечітке значення виходу з функцією приналежності  $\mu_{d_{OUT}}(y)$  знаходиться за допомогою операції агрегації (зазвичай операції максимуму):

$$\mu_{d_{OUT}}(y) = \bigvee_{i=1}^{n_R} (w_i(a_1, \dots, a_{n_a}) \wedge \mu_{d_i}(y)), \quad (2.15)$$

де  $\bigvee$  — операція агрегації, що відповідає об'єднанню нечітких

правил «ІНАКШЕ» («ELSE»), яка в системі Мамдані еквівалентна диз'юнкції;

$\wedge$  — операція імплікації (у системі Мамдані еквівалентна кон'юнкції);

$\mu_{a_i}(y)$  — функція приналежності консеквента  $i$ -го правила.

Процедура отримання нечіткого значення виходу при використанні максимуму як оператора агрегації та мінімуму як оператора імплікації називається максимінною композицією.

За результатами опрацювання відповідно до алгоритму управління даних, що надходять на вхід системи, отримано нечіткий результат  $\mu_{a_{\text{OUT}}}(y)$ . На етапі дефаззифікації нечіткий набір значень лінгвістичних змінних, що виводяться, згідно з операціями дефаззифікації, перетвориться до точного (чіткого) значення  $\bar{y}$ . Найчастіше використовують методи усередненого максимуму (МОМ) і центру ваги (СОА) (рис. 2.7, а, б).

За існування кількох елементів області визначення з максимальним значенням ступеня приналежності вихідної лінгвістичної змінної  $\mu_{x_{\text{OUT}}}(x)$  обирається усереднене значення максимумів (МОМ) (див. рис. 2.7, а):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i^n x_i^{\max}, \quad (2.16)$$

де  $\bar{x}$  — дефаззифіковане чітке значення;

$x_i^{\max}$  — значення нечіткої множини  $x$ , для якої функції приналежності набувають значень максимуму;

$n$  — кількість функцій приналежності.

Для врахування областей, що перекриваються, множини правил, що спрацювали, використовується метод СОА (див. рис. 2.7, б). У цьому разі ФП виходу перебуває в центрі ваги виходів кожного з правил, що спрацювали:

$$\bar{x} = \frac{\int_a^b x \mu_{\mathbf{X}}(x) dx}{\int_a^b \mu_{\mathbf{X}}(x) dx}, \quad (2.17)$$

де  $\mu_{\mathbf{X}}(x)$  — функція приналежності в діапазоні від  $a$  до  $b$ .

Хоча правила БЗ моделей типу Мамдані прозорі й інтуїтивно зрозумілі, проте мають гірші апроксимувальні властивості [112]. Тому для розв'язання даної задачі скористаємося методом логічного виведення Ларсена.

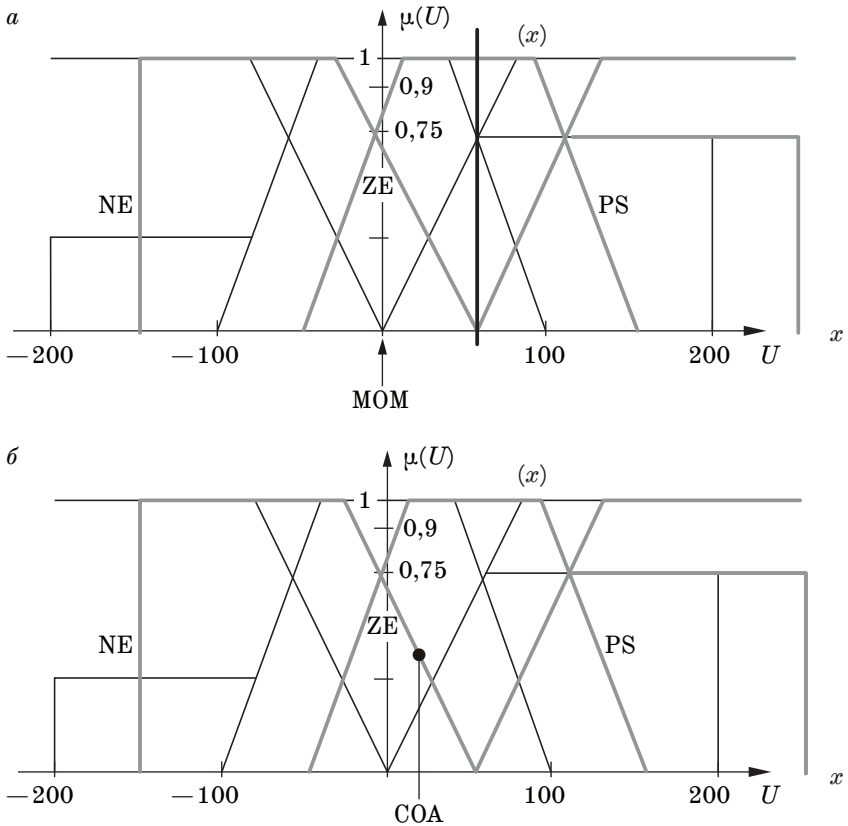


Рис. 2.7. Графічна ілюстрація методів дефазифікації (Джерело: виконано на підставі [111]):

а — усередненого максимуму; б — центру тяжіння

Незважаючи на схожість основних етапів моделі Ларсена з моделлю Мамдані, між ними є ключова відмінність. У процесі імплікації усічені ФП для розрахунку вихідних термів використовують м'які операції алгебраїчного зортання (*prod*). Розглянемо основні етапи роботи моделі.

1. На етапі фазифікації вхідних даних (як і в моделі Мамдані) вимірювальна підсистема визначає ступінь приналежності для кожної з передумов у нечітких правилах  $\alpha_1(a)$ ,  $\alpha_2(a)$ ,  $\alpha_1(b)$ ,  $\alpha_2(b)$ .

2. На етапі логічного виведення (як у моделі Мамдані) на кроці імплікації рівні відсікання визначаються за допомогою операції жорсткого мінімуму:  $\alpha_i = \alpha_i(a) \wedge \alpha_i(b)$ . Потім усічені ФП для кожного вихідного терму обчислюються за допомогою операції добутку:  $B'_i = \alpha_i \cdot B_i$ .

Крок композиції також аналогічний моделі Мамдані:

$$B' = \bigvee_{i=1}^n B'_i = \alpha_i \wedge B_i.$$

3. На етапі дефазифікації визначається вихідне значення системи.

Модифікація алгоритму Ларсена полягає в перевірці на кількість повторюваних виведень нечіткого правила для вихідних термів і встановленні рівня відсікання для кожного вихідного терму за допомогою операції жорсткого мінімуму.

Розглянемо реалізацію нечіткого логічного виведення на основі алгоритму Ларсена (рис. 2.8). Нехай ступені приналежності дорівнюють:

$$\alpha_1(a) = 0,8; \alpha_2(a) = 0,17; \alpha_1(b) = 0,33; \alpha_2(b) = 0,75.$$

$$\alpha_2 = \alpha_{21} \wedge \alpha_{22} = \min \{0,75; 0,17\} = 0,17.$$

$$\alpha_3 = \min \{0,17; 0,75\} = 0,17.$$

Усічені функції приналежності для кожного вихідного терму визначаються з використанням операції добутку:

$$B'_1 = \alpha_1 \cdot B_1; B'_2 = \alpha_2 \cdot B_2; B'_3 = \alpha_3 \cdot B_3.$$

На етапі композиції, використовуючи операцію максимуму, усічені ФП об'єднуються в одну:

$$B' = B'_1 \vee B'_2 \vee B'_3.$$

На етапі дефазифікації на основі даних *таблиці 2.2* визначається вихідне значення.

Метод центру мас дає змогу знайти остаточне вихідне значення:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{21} B' b}{\sum_{i=1}^{21} B'} = \frac{\sum_1}{\sum_2} = \frac{129,7}{2,97} = 43,6.$$

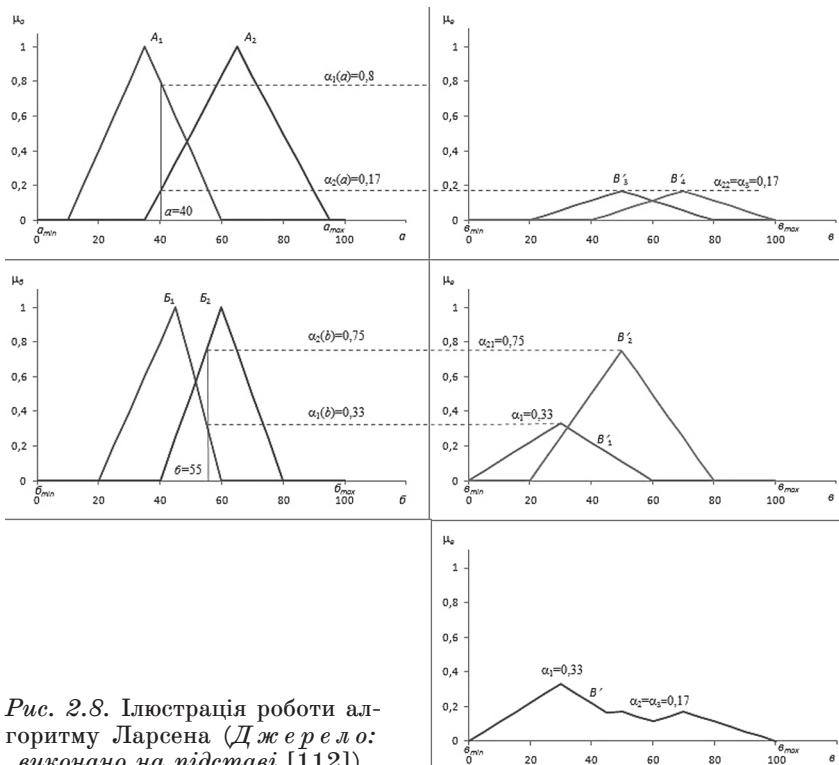


Рис. 2.8. Ілюстрація роботи алгоритму Ларсена (Джерело: виконано на підставі [112])

Для моделювання багатовимірних залежностей типу «входи — виходи», як показав проведений аналіз, доцільно застосовувати ієрархічні системи нечіткого логічного виведення. Основна ідея полягає в тому, що безпосереднє виведення в них здійснюється шляхом передачі результату у вигляді нечіткої множини нижнього рівня ієрархії до машини НВ наступного рівня без виконання операцій дефаззифікації та фаззифікації для проміжних змінних.

Абстрактна нечітка модель Ларсена є розбиттям простору вхідних чинників на нечіткі підобласті за допомогою antecedента (умовної частини правила). Значення функції відгуку в кожній із підобластей є лінійною комбінацією вхідних змінних, а значення виходу обчислюється за лінійною функцією вхідних змінних.

Перевагами моделі Ларсена є простота, інтерпретованість та універсальна апроксимувальна здатність. Це означає, що лінійні

функції у виведеннях правил прості в реалізації, нечіткі правила легко піддаються лінгвістичній інтерпретації, і модель Ларсена може з будь-якою точністю наближати довільні нелінійні залежності.

Таблиця 2.2

*Представлення вихідних значень*

$b$	$B'_1$	$B'_2$	$B'_3$	$B' = B'_1 \vee B'_2 \vee B'_3$	$b \cdot B'$
0	0	0	0	0	0
5	0,055	0	0	0,055	0,275
10	0,11	0	0	0,11	1,1
15	0,165	0	0	0,165	2,475
20	0,22	0	0	0,22	4,4
25	0,275	0,0283333	0	0,275	6,875
30	0,33	0,0566667	0	0,33	9,9
35	0,275	0,085	0	0,275	9,625
40	0,22	0,1133333	0	0,22	8,8
45	0,165	0,1416667	0,0283333	0,165	7,425
50	0,11	0,17	0,0566667	0,17	8,5
55	0,055	0,1416667	0,085	0,1416667	7,7916667
60	0	0,1133333	0,1133333	0,1133333	6,8
65	0	0,085	0,1416667	0,1416667	9,2083333
70	0	0,0566667	0,17	0,17	11,9
75	0	0,0283333	0,1416667	0,1416667	10,625
80	0	0	0,1133333	0,1133333	9,0666667
85	0	0	0,085	0,085	7,225
90	0	0	0,0566667	0,0566667	5,1
95	0	0	0,0283333	0,0283333	2,6916667
100	0	0	0	0	0
				$\Sigma_2 = 2,97$	$\Sigma_1 = 129,78$

*Джерело: розроблено авторами*

Таким чином, нечітка модель Ларсена є ефективним інструментом для моделювання складних нелінійних систем в умовах невизначеності та нечіткості початкової інформації. Саме цим характеризується розглянутий клас задач створення варіативного інформаційного оточення.

Звісно, методи логічного виведення мають свої недоліки та переваги. Так, модель Мамдані має хороші лінгвістичні можливості під час опису предметної області природною мовою, а нечітка модель Ларсена має універсальні апроксимувальні властивості. Розглянуте завдання оцінювання досягнення компетенцій і набутих знань і навичок інтерпретується як страсти, що перегинаються [102; 103]. Тому, зважуючи плюси і мінуси різних методів логічного виведення стосовно цього завдання, найповніше зазначеним умовам відповідає алгоритм Ларсена. Його застосування дасть змогу визначити оптимальний варіант відображення елементів надводної обстановки в завданні оцінювання досягнення компетенцій і набутих знань і навичок залежно від рівня підготовки судноводія та оцінки його дій.

Нехай вхідними даними для системи нечіткого виведення є 5 початкових значень параметрів руху суден, представлених у вигляді нечітких лінгвістичних змінних: «азимут», «дальність», «курс», «наявність перешкод плаванню», «швидкість», а вихідними — «інформаційні елементи надводної обстановки» (скорочено — «інформаційна модель»).

Для нечіткого моделювання процесу вибору варіантів відображення ІЕ в рамках інформаційної моделі використовується система MATLAB. Ця платформа пропонує спеціалізовані інструменти, пов'язані з розробленням і застосуванням нечітких моделей [104].

Редактор функцій приналежності в MATLAB дає змогу задати їх для різних термів лінгвістичних змінних у графічному режимі.

Визначимо терми та відповідні ФП для вхідних і вихідних лінгвістичних змінних системи нечіткого виведення:

— лінгвістична змінна «азимут» має терм-множину:  $a_1 = \{\text{«малій»}, \text{«середній»}, \text{«великий»}, \text{«дуже великий»}\}$ ;

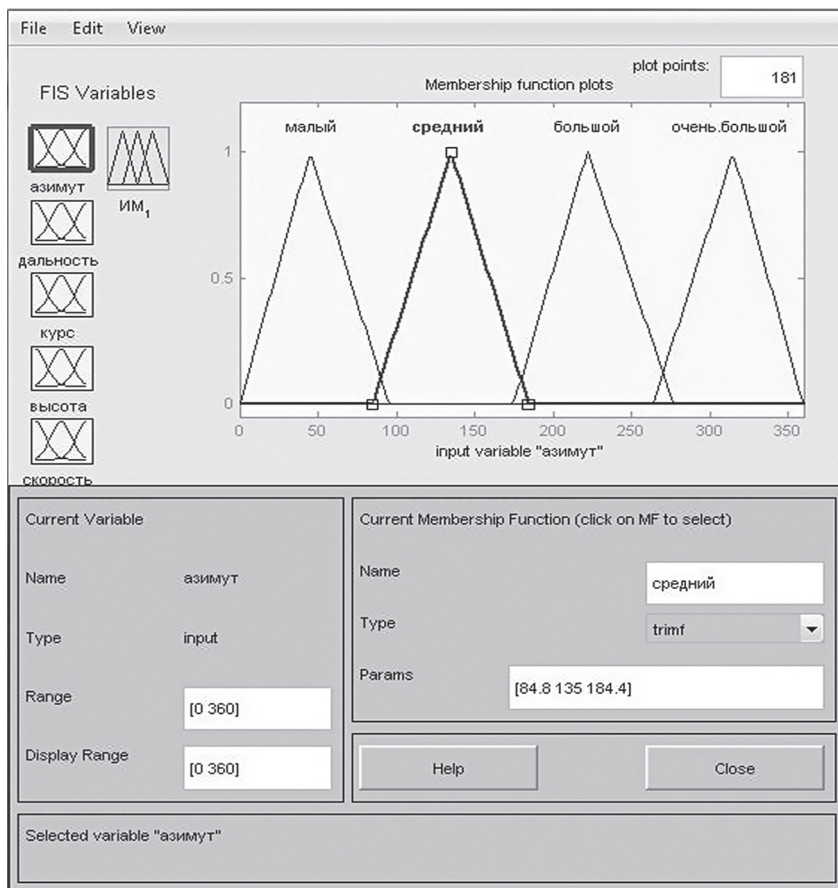
— лінгвістична змінна «дальність» представлена термами:  $a_2 = \{\text{«мала»}, \text{«велика»}\}$ ;

— лінгвістична змінна «курс» містить терми:  $a_3 = \{\text{«малій»}, \text{«середній»}, \text{«великий»}, \text{«дуже великий»}\}$ ;

— лінгвістична змінна «наявність перешкод плаванню» має терм-множину:  $a_4 = \{\text{«відсутні»}, \text{«малі»}, \text{«середні»}, \text{«великі»}\}$ ;

- лінгвістична змінна «швидкість» представлена термами:  $a_5 = \{\text{«мала»}, \text{«низька»}, \text{«середня»}, \text{«повний хід»}\}$ ;
- вихідна лінгвістична змінна у спрощеній інформаційній моделі ( $y_1$ ) використовує терм-множину:  $d_i = \{\text{«модель 1»}, \text{«модель 2»}, \text{«модель 3»}, \text{«модель 4»}, \text{«модель 5»}, \text{«модель 6»}, \text{«модель 7»}, \text{«модель 8»}\}$ , де  $i = 1, 2, \dots, 8$ .

Результат редактора функцій приналежності вхідних і вихідних лінгвістичних змінних наведено на *рис. 2.9, 2.10*.



*Рис. 2.9.* Сукупність нечітких змінних лінгвістичної змінної «азимут» редактора функцій приналежності (Джерело: розроблено авторами)

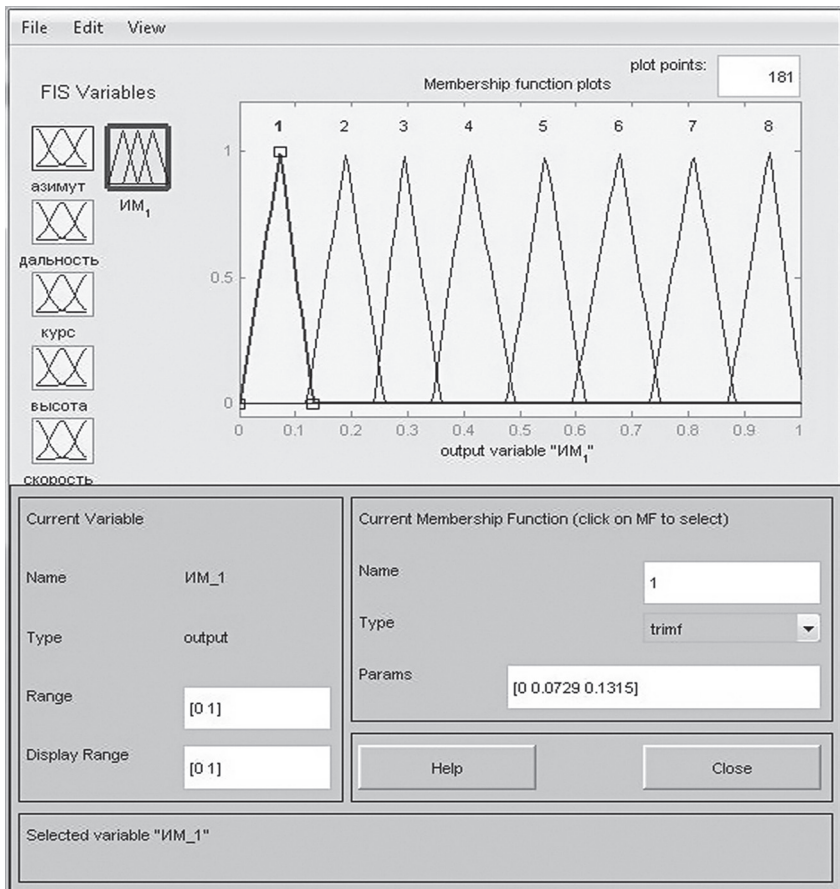


Рис. 2.10. Сукупність термів та їхні функції приналежності для вихідних лінгвістичних змінних системи нечіткого виведення редактора функцій приналежності (Джерело: розроблено авторами)

Аналогічним чином можна формалізувати терм-множини для інших лінгвістичних змінних системи: «дальність», «курс», «наявність перешкод плаванню» і «швидкість».

Редактор правил у системі нечіткого виведення MATLAB дає змогу задати правила для моделі, формулювання яких відбувається шляхом вибору відповідних значень термів вхідних і вихідних лінгвістичних змінних.

Наприклад, одне з правил може мати такий вигляд:

*«Якщо азимут «малий» І дальність «мала» І курс «малий» І наявність перешкод плаванню «відсутня» І швидкість «мала», ТО вихідна модель є «модель 1»*

Таким чином здійснюється зв'язок конкретних значень вхідних змінних і відповідної інформаційної моделі на виході. Аналогічно формулюються всі правила системи нечіткого виведення. Перевагою такого підходу є задавання правил природною мовою, що робить модель зрозумілою та прозорою. Крім того, правила можуть бути легко модифіковані експертами предметної області для налаштування моделі під конкретні вимоги.

Приклади правил, заданих для процедури логічного виведення:

85. if (азимут is дуже великий) and (дальність is мала) and (курс is великий) and (наявність перешкод плаванню is середня) and (швидкість is середня) then (ІМ\_1 is 4) (1);

86. if (азимут is дуже великий) and (дальність is мала) and (курс is великий) and (наявність перешкод плаванню is велика) and (швидкість is повна) then (ІМ\_1 is 4) (1);

87. if (азимут is дуже великий) and (дальність is велика) and (курс is середній) and (наявність перешкод плаванню is мала) and (швидкість is середня) then (ІМ\_1 is 8) (1);

...

99. if (азимут is дуже великий) and (дальність is велика) and (курс is дуже великий) and (наявність перешкод плаванню is середня) and (швидкість is середня) then (ІМ\_1 is 8) (1);

100. if (азимут is дуже великий) and (дальність is велика) and (курс is дуже великий) and (наявність перешкод плаванню is середня) and (швидкість is повна) then (ІМ\_1 is 8) (1).

Програма для перегляду правил дає змогу оцінити результати НВ (значення вихідної лінгвістичної змінної) для заданих значень вхідних лінгвістичних змінних і проаналізувати вплив кожного окремого правила на підсумковий результат. З цієї метою спостерігають за автоматичними змінами вихідної лінгвістичної змінної при зміні значень вхідних змінних, що підтверджує адекватність роботи моделі.

Процедуру НВ для спрощеної інформаційної моделі ( $y_1$ ) з термами вхідних лінгвістичних змінних, що дорівнюють [102—104], проілюстровано на *рис. 2.11* і *2.12*.

Отриманий під час аналізу результат дефазифікації відображається у верхній частині стовпчика, позначеного ім'ям вихідної

змінної (див. рис. 2.11). Це дає змогу легко ідентифікувати вихідне значення й оцінити його в контексті заданих вхідних параметрів. Аналогічно формалізуються терм-множини лінгвістичних змінних для інших варіантів відображення інформаційної моделі: «простої» ( $y_2$ ), «складної» ( $y_3$ ).

Таким чином, у процесі створення інформаційного середовища навчання формуються початкові умови відображення елементів надводної обстановки, які відповідають інформаційній моделі залежно від значень вхідної інформації. Така система дасть змогу сформувати вправи дозовано прогресуючої складності залежно від рівня підготовки та дій здобувачів освіти.

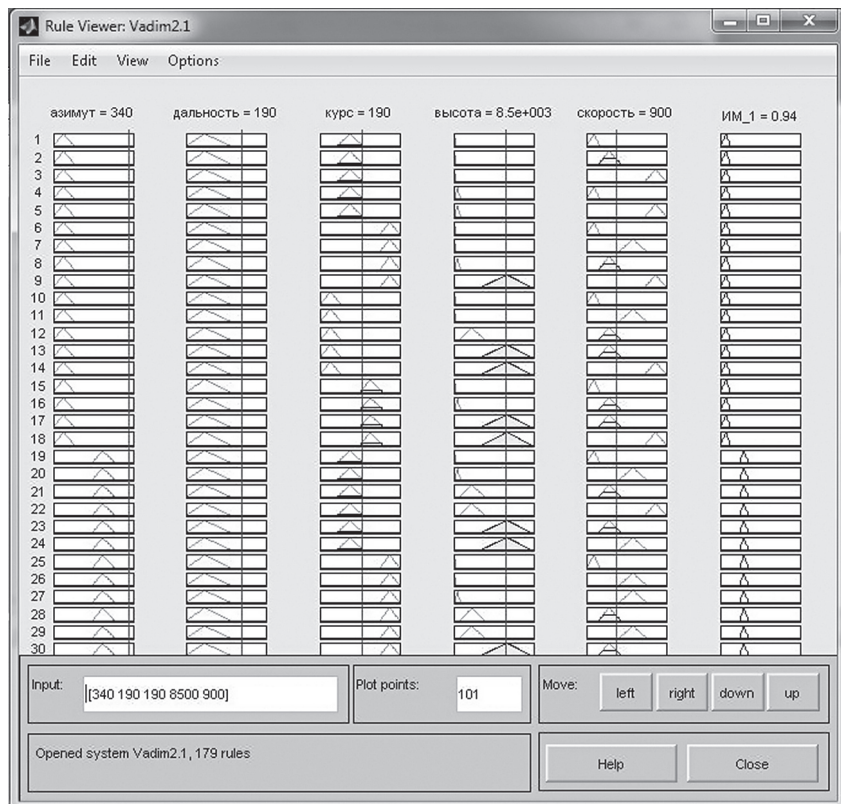


Рис. 2.11. Результати нечіткого логічного виведення (Джерело: розроблено авторами на основі [102—104])

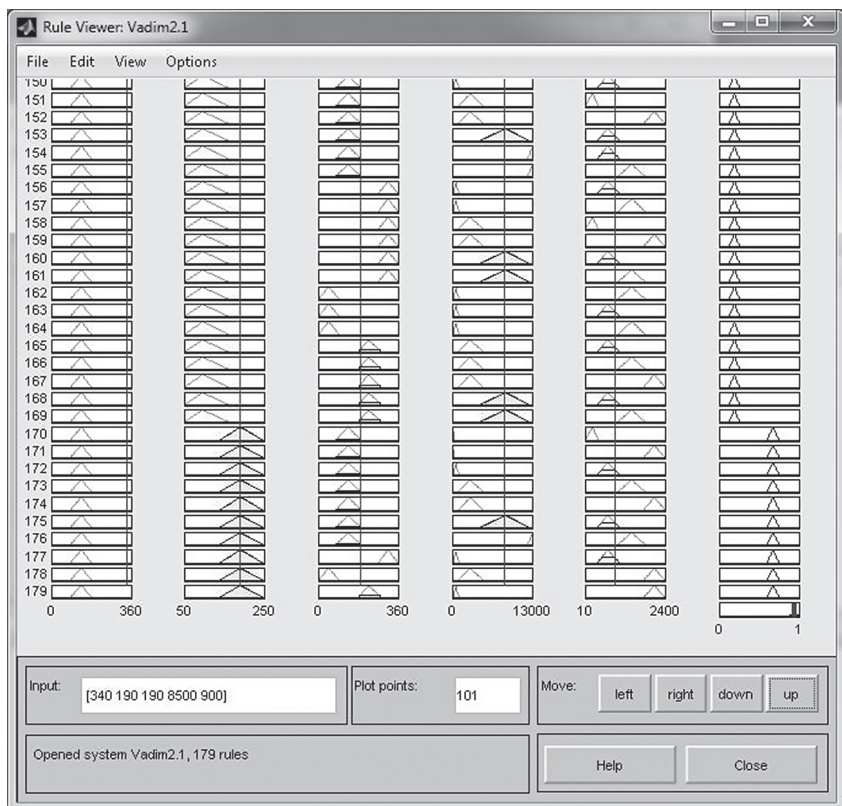
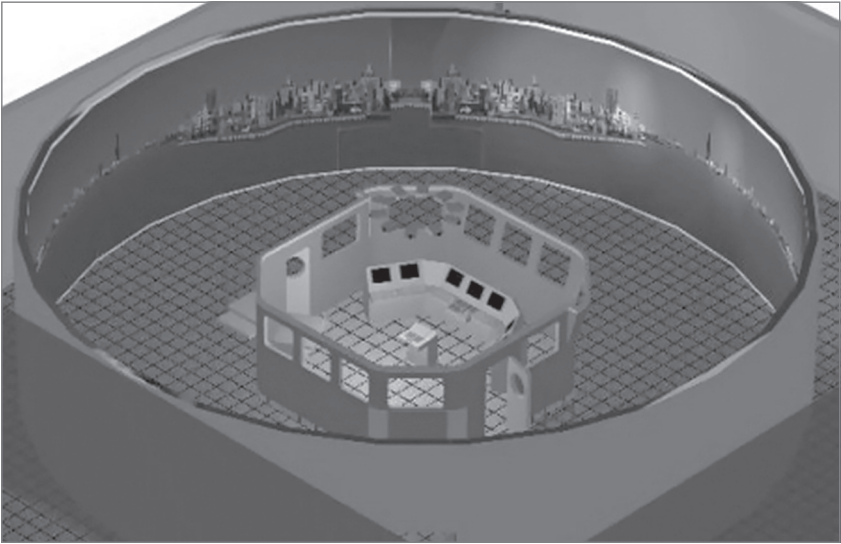


Рис. 2.12. Процедура дефазифікації вихідної змінної (Джерело: розроблено авторами на основі [102—104])

Приклади формування початкових умов відображення елементів надводної обстановки для трьох варіантів інформаційної моделі ( $y_1$  = спрощена,  $y_2$  = проста,  $y_3$  = складна) наведено на рис. 2.13, 2.14, 2.15.

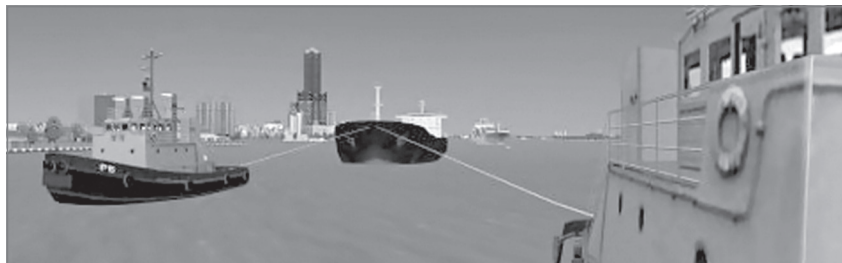
Інформаційна модель (рис. 2.13) є спрощеною і дає змогу здобувачеві освіти відпрацювати весь алгоритм дій з управління судном або окремими його системами для різних умов. На початковому етапі тренажерної підготовки судноводій може до автоматизму відпрацювати і закріпити необхідні навички та вміння, використовуючи пультове обладнання. Ця інформаційна модель враховує основні психологічні чинники, що впливають на процес керування



*Рис. 2.13.* Приклад відображення елементів надводної обстановки для інформаційної моделі «спрощена» (Джерело: розроблено авторами)



*Рис. 2.14.* Приклад відображення елементів надводної обстановки для інформаційної моделі «проста» (Джерело: розроблено авторами)



*Рис. 2.15.* Приклад відображення імітаційних елементів інформаційної моделі «складна» (Джерело: розроблено авторами)

судном, й адекватно відображає реальні умови плавання. Вона містить мінімально необхідну інформацію, забезпечуючи повний інформаційний супровід, що дає змогу судноводієві ефективно відпрацювати весь алгоритм дій з керування судном у різних ситуаціях [24].

Інформаційна модель (рис. 2.14) надає судноводієві можливість відпрацювати повний алгоритм дій для вирішення завдань керування судном у різних умовах, включно зі складними ситуаціями, плаванням у вузькостях і у складних навігаційних та лоцманських умовах.

Структурно ця модель є простою, забезпечуючи середні значення інформаційних елементів надводної обстановки. Однак в умовах обмеженої видимості, у вузьких акваторіях або в зонах із високою щільністю судноплавства завдання ускладнюється. Судноводій має оцінювати навігаційну ситуацію в денний і нічний час візуально, а також за інформацією, що надходить від РЛС, засобів автоматичної радіолокаційної прокладки (ЗАРП) та АІС.

Запропонована модель (рис. 2.15), що враховує особливості маневрування великотоннажних суден і суден з особливими маневреними характеристиками, є складною. Вона передбачає використання обладнання глобальної морської системи зв'язку під час лиха та електронної картографії.

Отже наведена модель є високоефективним інструментом для підготовки судноводіїв до реальних умов роботи у складній обстановці, що дозволяє на етапі тренажерної підготовки сформувати необхідні навички та вміння для:

— управління великотоннажними суднами і суднами з особливими маневреними характеристиками;

— оцінки поведінки суден в умовах мілководдя, впливу вітру і течії, зміни завантаження, а також взаємодії з іншими суднами за малих відстаней і роботи підрулювальних пристроїв;

— ефективного використання навігаційного обладнання в конкретних районах плавання;

— проведення швартовних операцій у морі;

— виконання буксирувальних операцій з різними типами буксирів, враховуючи зовнішні умови та взаємодію між судном і буксиром;

— виконання якірних операцій;

— управління в разі несправностей навігаційного обладнання та органів управління на ходових містках, а також у позаштатних і аварійних ситуаціях.

Таким чином, судноводії на етапі тренажерної підготовки можуть адекватно оцінювати надводну обстановку, характер і умови переміщення динамічних об'єктів, а також відпрацьовувати необхідні навички управління судном у різних умовах плавання.

### **2.3. Використання VR-технологій у формуванні психофізіологічної готовності курсантів як чинника підвищення безпеки судноплавства**

На сучасному етапі суспільного розвитку інформаційні технології виступають потужним інструментом трансформації та модернізації освітнього процесу, забезпечуючи широкі можливості для його удосконалення та варіативності. Національні уряди низки європейських держав, включаючи Україну, активно впроваджують цифрові технології як ключовий елемент реформування системи освіти. Цифровізація освітнього простору сприяє формуванню нових педагогічних практик, що, у свою чергу, зумовлює глибинні зміни в структурі та змісті освітніх процесів.

Впровадження цифрових технологій у сферу освіти є однією з провідних і стійких тенденцій глобального освітнього розвитку. Саме ці технології забезпечують інтенсифікацію освітнього процесу, підвищення його якості, а також сприяють прискоренню та ефективнішому засвоєнню навчального матеріалу.

Серед інноваційних рішень, що демонструють стрімкий розвиток у професійній освіті, особливе місце посідають віртуальні тренажери та симуляційні комплекси на основі технологій віртуальної

реальності (VR). Їх використання дозволяє не лише моделювати реалістичні професійні ситуації, а й значно підвищити рівень практичної підготовки курсантів морських закладів освіти в умовах, наближених до реального виробничого середовища. У контексті сучасних викликів, пов'язаних із професійною діяльністю моряків, особливого значення набуває ефективність підготовки курсантів до дій в екстремальних умовах морського середовища. Одним із ключових чинників забезпечення професійної придатності є психофізіологічна готовність, формування якої потребує не лише фізичної підготовки, а й усвідомлення основ безпеки життєдіяльності.

У сучасних наукових дослідженнях все більше уваги приділяється ролі цифрових технологій у професійній освіті, зокрема в підготовці фахівців морського профілю до дій в екстремальних умовах морського середовища. Питанню психофізіологічної підготовки курсантів до дій у небезпечних ситуаціях присвячено роботи вітчизняних і зарубіжних дослідників [1; 2; 5; 10; 13]. Сучасний освітній простір зазнає активної цифрової трансформації, що зумовлює появу нових педагогічних практик, спрямованих на підвищення якості та ефективності засвоєння знань.

На сучасному етапі розвитку освіти цифрові технології, зокрема засоби віртуальної реальності (VR), відкривають нові можливості для удосконалення підготовки курсантів. Уряди європейських країн, включаючи Україну, активно підтримують модернізацію освітньої системи шляхом впровадження цифрових інструментів у навчальні програми [9; 12; 15]. Розвиток цифрової освіти сприяє формуванню більш ефективного освітнього середовища, що активізує пізнавальну діяльність, покращує сприймання інформації та підвищує рівень залученості здобувачів морської освіти.

Особливе місце в цьому процесі посідають VR-технології, які сьогодні визнаються одним із найбільш динамічних і перспективних напрямів інновацій в освітньому процесі морських ЗВО. Віртуальні тренажери забезпечують високий рівень занурення в змодельовані ситуації підвищеного ризику, дозволяють курсантам відпрацювати алгоритми дій у критичних умовах, формуючи стійкі навички реагування, зниження тривожності та підвищення загальної стресостійкості [4; 8; 14; 17].

Проте, попри наявні напрацювання, залишається недостатньо дослідженим комплексний вплив знань з безпеки життєдіяльності, здобутих у VR-середовищі, саме на психофізіологічну готовність

курсантів до проходження плавальної практики в умовах реального професійного навантаження.

Питання формування психофізіологічної стійкості курсантів морських ЗВО розглядалося у працях В. І. Бондаря [1], І. А. Бойка [2], А. А. Демченка [6]. Застосування VR-технологій у професійній підготовці морських фахівців досліджували О. П. Сіденко [8], С. М. Гришук та Л. В. Шостак [4], а також зарубіжні вчені D. Melton [11], Shen et al. [17], Zorbakhsh та Karim [13]. Незважаючи на наявні дослідження, недостатньо опрацьованими залишаються аспекти цільової інтеграції знань з безпеки життєдіяльності у VR-середовище як чинник психофізіологічної готовності саме до плавальної практики.

Плавальна практика є невід'ємним етапом підготовки майбутнього моряка, що передбачає адаптацію до фізичних, когнітивних та емоційних навантажень [6]. Однією з умов ефективного проходження практики є здатність курсанта діяти злагоджено, швидко та впевнено в умовах підвищеного ризику. Теоретичні знання з безпеки життєдіяльності, зокрема про евакуацію, пожежогасіння, виживання в морі, формують когнітивну базу, що сприяє усвідомленій поведінці [5].

VR-середовище дозволяє курсантам без ризику для життя проходити симуляційні тренінги, що моделюють критичні ситуації: пожежі, зіткнення, втрату плавзасобу [8]. Біометричні сенсори, окремі або вбудовані у VR-шоломи, дають змогу моніторити фізіологічні реакції та адаптувати навчальні траєкторії [11]. Курсанти, які проходили VR-підготовку, продемонстрували вищий рівень впевненості, нижчий рівень тривожності та кращу швидкість реагування [10].

У мультикультурних екіпажах важливою є колективна злагодженість, яку також можливо тренувати у VR-середовищі, зокрема у спільних сценаріях взаємодії у надзвичайних ситуаціях [3]. Технологічна адаптація освітнього процесу, зокрема через персоналізоване навчання на основі фізіологічних показників, підвищує загальний рівень безпеки [14].

Сучасна професійна підготовка курсантів морських закладів освіти передбачає не лише формування теоретичних знань і практичних навичок, а й розвиток психофізіологічної готовності до дій в екстремальних умовах морського середовища. Одним із ключових напрямів досягнення цієї мети є впровадження у навчальний процес VR-технологій, що дозволяють моделювати критичні ситуації

у віртуальному середовищі, максимально наближеному до реальних умов морської діяльності.

Під час дослідження було проаналізовано вплив знань з безпеки життєдіяльності, отриманих за допомогою VR-симуляцій, на формування ключових психофізіологічних характеристик курсантів: стресостійкості, оперативності мислення, здатності до концентрації уваги, швидкості прийняття рішень та зниження рівня тривожності в умовах невизначеності. Практичні заняття, проведені у VR-середовищі, передбачали проходження сценаріїв, пов'язаних із ліквідацією пожежі на судні, аварійним залишенням судна, евакуацією екіпажу та наданням першої допомоги.

За результатами спостережень та аналізу даних біофідбек-контролю зафіксовано статистично значуще зниження психоемоційної напруги в учасників, що регулярно проходили VR-тренування. Також відзначено покращення когнітивної стабільності, що проявилось в зростанні швидкості реакції та точності дій під час моделювання надзвичайних ситуацій.

Застосування VR-технологій дозволило створити безпечне, але психологічно напружене навчальне середовище, що стимулює адаптивну поведінку курсантів, формує готовність до роботи у багатфакторних умовах морської небезпеки. У порівнянні з традиційними формами викладання (лекції, практикуми без моделювання), VR-формат значно підвищив рівень включення в навчальний процес і мотивацію до засвоєння знань із безпеки життєдіяльності.

Окрім того, VR-середовище дає змогу здійснювати індивідуалізований моніторинг психофізіологічних параметрів курсантів у процесі навчання. Застосування біометричних сенсорів, окремих або вбудованих у VR-шоломи, дозволяє отримувати в реальному часі дані про серцевий ритм, частоту дихання, рівень стресу. Це сприяє формуванню персоналізованих навчальних маршрутів, що враховують індивідуальні психофізіологічні особливості курсантів.

У дослідженні брали участь курсанти першого курсу Херсонської державної морської академії у розрізі освітньої компоненти «Безпека життєдіяльності» на симуляторі віртуальної реальності OMS, який дозволяє як курсантам, так і вже досвідченим морякам відпрацьовувати на судні більш ніж 30 судових операцій та тренінгів. Протягом дослідження проводилися тренування дій з рятувальними шлюпками в аварійних умовах на судні.

Отримані результати підтверджують, що знання з безпеки життєдіяльності, здобуті у VR-форматі, мають комплексний вплив на якість

підготовки курсантів. Вони не лише сприяють формуванню свідомого ставлення до безпеки, а й розвивають здатність до самоконтролю, знижують ризики дезорганізації поведінки у кризових ситуаціях. VR-формат дозволяє неодноразово відпрацьовувати аварійні сценарії, що є неможливим у реальних умовах з міркувань безпеки.

Відтак, VR-технології розглядаються як ефективний інструмент інтеграції дисциплін із безпеки життєдіяльності у систему професійної підготовки, що забезпечує формування у курсантів цілісної безпекової культури та підвищує їхню психофізіологічну готовність до проходження плавальної практики в умовах підвищеного ризику.

У контексті дослідження можливостей підвищення ефективності професійної підготовки майбутніх морських фахівців в умовах цифрової трансформації освіти було здійснено аналіз застосування віртуальних тренажерних симуляторів з використанням технологій віртуальної реальності. Зокрема використання віртуального симулятора OMS-VR у поєднанні з VR-шоломом Meta Quest 3 дозволяє моделювати небезпечні ситуації морського середовища, унеможливлені або складні для відтворення в реальних умовах. Такий підхід забезпечує набуття практичного досвіду реагування на надзвичайні ситуації без ризику для здоров'я курсантів.

Особливу увагу в рамках дослідження було зосереджено на аналізі психофізіологічної готовності здобувачів морської освіти до дій в умовах підвищеного стресу. З цією метою було впроваджено моніторинг біометричних показників за допомогою носимих пристроїв, зокрема годинника Garmin, який дозволяє реєструвати такі параметри, як частота серцевих скорочень (ЧСС), варіабельність серцевого ритму (HRV) та рівень стресу (stress score), що розраховується на основі аналізу HRV. У спокійному стані HRV висока, що свідчить про активну парасимпатичну нервову систему. Під час стресу HRV знижується, бо активується симпатична нервова система, й організм готується до дії.

Алгоритм від Garmin враховує:

- ЧСС (пульс)
- Тривалість інтервалів R-R (між ударами серця)
- Індивідуальні показники користувача

Рівень стресу визначається за шкалою:

- 0—25: низький
- 26—50: помірний
- 51—75: високий
- 76—100: дуже високий

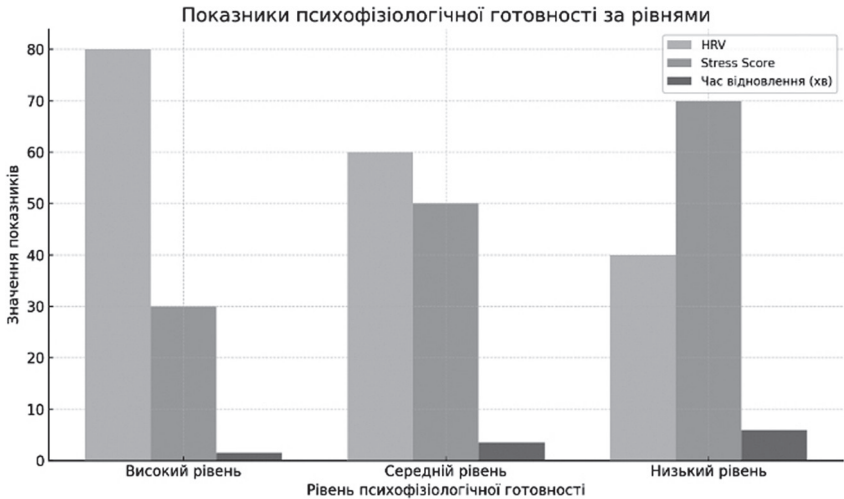
Перед початком виконання VR-завдання фіксувався базовий рівень ЧСС і HRV у стані спокою. Під час проходження симульованих сценаріїв (наприклад, пожежа на судні, евакуація, перебування за бортом) здійснювався безперервний запис показників. Після завершення завдання оцінювалася швидкість повернення до базових значень як індикатор відновлення психофізіологічного стану.

Результати дослідження засвідчили, що наявність високої психофізіологічної готовності корелює зі стабільними показниками ЧСС, вищим рівнем HRV і коротким періодом відновлення. У свою чергу, фіксація різких піків ЧСС, зниження HRV і затяжна активація симпато-адреналової системи свідчать про підвищене психоемоційне навантаження та недостатню адаптацію до стресових умов. Повторне проходження VR-сценаріїв у динаміці дозволяє фіксувати позитивні зміни у фізіологічних реакціях курсантів, що вказує на ефективність симуляційного навчання.

Крім того, аналіз психофізіологічних показників дозволяє сформувати індивідуальні профілі адаптації до стресу, що можуть бути інтегровані у систему автоматизованої оцінки готовності здобувачів морської освіти до стандартної плавальної практики та подальшої професійної діяльності в умовах високого ризику. Це відкриває можливості для розробки персоналізованих програм тренування, які враховують індивідуальні реакції на навантаження, темп відновлення та здатність до концентрації уваги під впливом факторів стресу. У подальших дослідженнях доцільно використовувати розширений набір біометричних сенсорів, у тому числі електродермальну активність (EDA), насичення киснем ( $SpO_2$ ) і температурні зміни, для поглибленого аналізу стану курсантів у реальному часі.

Для об'єктивного оцінювання рівня психофізіологічної готовності до дій в екстремальних ситуаціях було запропоновано умовну трирівневу модель, яка ґрунтується на таких параметрах, як варіабельність серцевого ритму (HRV), рівень стресу (stress score), а також час відновлення до базових фізіологічних значень після завершення сценарію.

Високий рівень готовності характеризується стабільними або підвищеними значеннями HRV, низьким або помірним рівнем стресу (відповідно до даних Garmin Stress Score), а також швидким поверненням до вихідних показників ЧСС після завершення завдання. Це вказує на добру адаптацію до стресових умов, сформовані навички саморегуляції та ефективну когнітивну концентрацію.



*Рис. 2.16.* Трирівнева модель змін фізіологічного стану курсантів

Середній рівень готовності спостерігається при помірних змінах HRV, помірно високому рівні стресу і середньому темпі відновлення. Такі учасники демонструють часткову здатність до мобілізації ресурсів в умовах стресу, проте їх адаптаційні механізми можуть бути нестабільними в умовах тривалого або повторного навантаження.

Низький рівень готовності ідентифікується на підставі значного зниження HRV, фіксації високого рівня стресу, тривалого періоду відновлення та наявності затяжної активації симпатико-адреналової системи. Це свідчить про недостатню стресостійкість і високий ризик розвитку дезадаптаційних реакцій в реальних умовах професійної діяльності.

Запропонована модель не лише дозволяє оцінити поточний рівень психофізіологічної готовності курсантів до плавальної практики, а й слугує інструментом для динамічного спостереження за змінами психофізіологічного стану у відповідь на симульовані екстремальні фактори. Вона може бути візуалізована у вигляді тривимірної діаграми, де осі відповідають показникам HRV, рівню стресу та часу відновлення, що забезпечує зручний спосіб інтерпретації даних у режимі реального часу. Такий підхід може бути інтегрований у програмне забезпечення VR-тренажера з метою

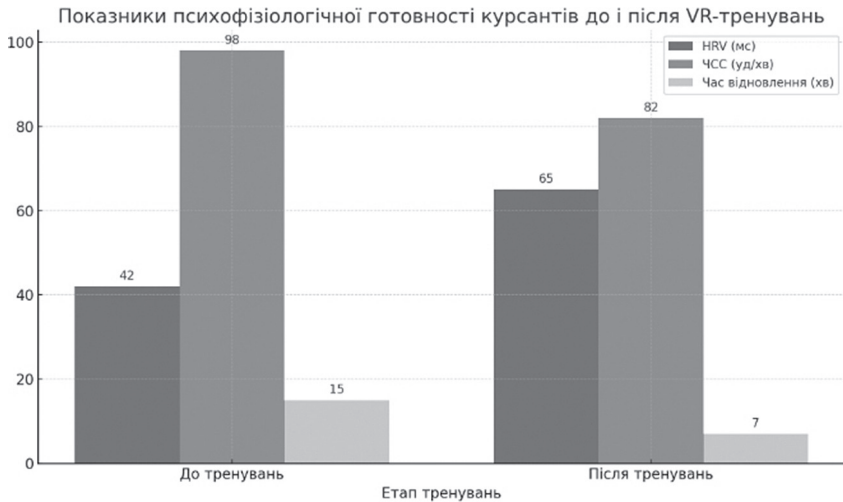


Рис. 2.17. Результат змін психофізіологічного стану курсантів

формування адаптивної траєкторії навчання, орієнтованої на розвиток стресостійкості та когнітивної мобільності курсантів.

Отже, моніторинг біометричних показників у VR-середовищі може бути використаний як об'єктивний інструмент оцінювання рівня готовності курсантів до плавальної практики та дій в екстремальних умовах морського середовища. Такий підхід сприяє персоналізації навчального процесу, своєчасному виявленню психологічної вразливості та адаптації програм підготовки до індивідуальних особливостей курсантів.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що впровадження віртуальних тренажерних симуляторів з використанням технологій віртуальної реальності (VR) у навчальний процес курсантів морських закладів освіти є ефективним інструментом формування психофізіологічної готовності до дій в екстремальних умовах морського середовища.

Отримані результати свідчать про те, що VR-технології не лише забезпечують глибше засвоєння знань із дисципліни «Безпека життєдіяльності», а й сприяють розвитку стійкості до стресу, швидкості та точності реагування, здатності до прийняття рішень в умовах ризику та невизначеності. Застосування VR-симуляцій дозволяє створити безпечне середовище для тренування дій у надзвичайних

ситуаціях, що є неможливим у реальному навчальному процесі з міркувань безпеки.

Індивідуалізований підхід, можливий завдяки VR-середовищу, дозволяє адаптувати навчальні сценарії відповідно до психофізіологічних особливостей курсантів, підвищуючи загальний рівень готовності до морської плавальної практики.

У подальшому доцільним є розширення дослідження з урахуванням різних типів екстрених сценаріїв, а також довготривалого моніторингу впливу VR-технологій на психофізіологічний стан курсантів у реальних умовах морського середовища.

## МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДІЯЛЬНОСТІ СУДНОВОДІЇВ

### 3.1. Контроль рівня підготовки судноводіїв

Для підвищення ефективності підготовки судноводіїв на тренажерах передбачено постійний контроль дій здобувачів освіти під час вирішення ними поставлених завдань [9; 13; 23; 28; 38; 58]. Це дає змогу оцінити дії здобувачів освіти, коригувати програму індивідуального навчання, визначати ступінь їхньої готовності до практичної роботи [58; 61; 71; 81—86]. Зазвичай під час проведення тренажерної підготовки контроль дій судноводіїв здійснюється інструктором на базі засобів пульта контролю й управління на всіх етапах тренування. Оцінка дій при цьому проводиться частково в процесі тренування, частково — після його завершення на основі апостеріорного аналізу зафіксованих у процесі тренування показників [84—96]. Тому актуальним є вдосконалення системи контролю дій здобувачів освіти, що дозволяє інтегрально оцінювати різні показники якості [58; 61; 71; 81; 84—86].

Основна мета контролю рівня підготовки судноводіїв полягає в отриманні інформації, необхідної для обґрунтованої оцінки успішності їхнього навчання та прогнозування якості майбутньої роботи [71; 81; 84—86].

Для досягнення об'єктивності контролю рівня підготовки судноводіїв необхідно реалізувати:

- вибір інформативних показників: використання показників, які дійсно відображають якість підготовки;
- реєстрацію вихідних даних: об'єктивна фіксація даних, необхідних для розрахунку та оцінювання обраних показників;
- обґрунтування граничних значень та умов: встановлення або розробка нормативів для визначення оцінок;
- створення реальних умов: забезпечення відповідності умов контролю реальним завданням, з якими стикаються оператори.

Рівень підготовки здобувачів освіти оцінюють за так званими «прямими показниками», які відображають ступінь виконання поставлених завдань [113]. У випадках, коли помилки здобувачів освіти можуть істотно вплинути на виконання реальних завдань, крім прямих показників, також застосовуються «непрямі

показники». Вони оцінюють фізіологічну «ціну» зусиль, витрачених судноводієм для досягнення результатів. Зазвичай непрямі показники спрямовані на оцінку нервово-емоційного напруження здобувачів освіти під час тренувань.

Наприклад, для підготовки судноводіїв найбільш інформативними є частота серцевих скорочень, частота дихання, об'єм легеневої вентиляції та резерви уваги. Використання як прямих, так і непрямих показників дає змогу більш повно оцінити не тільки результати виконання завдань, а й витрачені зусилля. У цій роботі непрямі показники не розглядаються через їхній неоднозначний вплив на діяльність судноводіїв у різних умовах [114—116].

Прямі показники можуть бути частковими або узагальненими.

Часткові показники оцінюють якість виконання окремих операцій здобувачами освіти або колективом здобувачів освіти. До них належать:

1. Імовірність виконання операції в заданий термін —  $t_i \leq T_0$ .
2. Імовірність виконання операції з помилками, що не перевищують допустимих значень, —  $r_i \leq R_0$ .
3. Імовірність того, що кількість безпомилкових рішень не менша за задану —  $L_i \geq L_0$ .
4. Одна із середніх оцінок статистичного оцінювання контрольованого показника.
5. Середнє квадратичне відхилення, а також дисперсія контрольованого показника.

Узагальнений показник — імовірність успішного виконання поставленого завдання.

Для забезпечення інформативності вихідних даних необхідно враховувати такі твердження:

1. Дані мають бути об'єктивними і забезпечувати розрахунок показників із заданою точністю і достовірністю.
2. Контрольовані параметри повинні демонструвати широкий діапазон змін залежно від рівня підготовки операторів.

Обґрунтованість граничних значень показників (нормативів) залежить від дотримання вказаних вимог і застосування методів математичної статистики.

Створення умов, що відповідають реальним умовам діяльності, досягається за допомогою імітаційно-тренувальних комплексів, що характеризуються високою повнотою та якістю відтворення інформаційної моделі. Також важливим є залучення натурних засобів

для створення обстановки, максимально наближеної до реальних умов управління судном [117].

Процес визначення ймовірнісних показників виконання завдання  $P$  полягає в обчисленні відношення кількості сприятливих подій  $n$  до загальної кількості спостережень  $N$ :

$$P = \frac{n}{N}, \quad (3.1)$$

де

$$t_i \leq T_0, r_i \leq R_0, L_i \geq L_0. \quad (3.2)$$

При оцінці рівня підготовки можливі два типи помилок:

- помилкове завищення оцінки рівня підготовки (помилка першого роду —  $\alpha$ );
- помилкове заниження оцінки рівня підготовки (помилка другого роду —  $\beta$ ).

Достовірність контролю визначається ймовірністю виникнення помилок, як першого —  $\alpha$ , так і другого роду —  $\beta$ . Оскільки помилки цих типів мають різну значущість, під час проведення контролю підготовки операторів важливо враховувати відповідні умови. Найбільш часто використовуваними методами оцінки рівня підготовки є [118]:

- метод одноразового вимірювання;
- метод постійного контролю.

У першому випадку здійснюють певну обмежену кількість контрольних замірів результатів діяльності в оцінюваних умовах. За характеристиками цих замірів приймають рішення про те, якому рівню підготовки відповідає контрольований оператор.

За методу послідовного контролю кількість контрольованих замірів заздалегідь не фіксують. Послідовно здійснюють разові заміри і визначають необхідні характеристики, за якими приймають одне з двох рішень:

- результати відповідають певному рівню підготовки;
- остаточне рішення не приймається, контроль триває.

Контроль завершується після прийняття рішення. Для оцінки рівня підготовки, незалежно від використовуваного методу контролю, потрібно встановити граничні значення показника. При одноразовому контролі враховується характер контрольованого показника — дискретний або безперервний.

Для отримання повноцінної інтегральної оцінки необхідно враховувати всі показники якості діяльності здобувача освіти. У цій

роботі оцінюються прямі показники діяльності, такі як час реакції, адекватність і загальний час вирішення завдання з усунення наслідків помилкових дій і рішень [117; 119].

Розглянуті показники якості діяльності судноводіїв можуть дати розрізнені оцінки для кожного здобувача освіти, що не завжди достатньо. Потрібно сформувані інтегральну оцінку якості діяльності, що об'єднує різні показники якості навчання і підготовки, отримані під час тренажерної підготовки. Таку сукупність можна визначити як сукупні показники врахування ефективності діяльності здобувача освіти. Під час розрахунку ефективності діяльності здобувача освіти необхідно реалізувати такі підходи.

Під час оцінювання значущості кожного окремого показника, тобто його «важливості» в загальній оцінці, необхідно враховувати різні аспекти роботи судноводія, які мають свої унікальні характеристики [117; 120]. Зокрема для судноводіїв критично важливими є такі параметри як час реакції, допущені помилки та способи їх усунення в процесі управління судном.

Під час формування інтегральної оцінки передбачається, що всі зазначені показники мають рівну «важливість», оскільки вони однаково значущі для ефективного виконання обов'язків судноводія.

Часткові показники, які використовуються для оцінки рівня підготовки судноводіїв, вимірюються в різних одиницях, що означає наявність різномірної інформації. До таких даних належать:

- точкові вимірювання та значення параметрів;
- допустимі діапазони змін параметрів, які впливають на оцінку;
- статистичні розподіли окремих величин;
- лінгвістичні критерії та обмеження, надані експертами.

У зв'язку з цим необхідно привести всі показники до безрозмірного та нормованого вигляду відносно певного еталона. Одним із підходів для прийняття рішень щодо оцінювання діяльності судноводія є використання теорії нечітких множин. Вона дає змогу формально описати процес спільного опрацювання даних, що мають різну природу невизначеності [121; 122].

Нечітке лінгвістичне моделювання ґрунтується на наборі правил і використовує концепцію лінгвістичної змінної. Застосування лінгвістичних змінних дає змогу переводити такі абстрактні поняття, як «далекий» або «заборонений», у сувору математичну форму. Лінгвістичні змінні оперують словами, а не числовими значеннями. Наприклад, інтегральна оцінка ефективності роботи судноводія може бути подана як лінгвістична змінна, де її значення

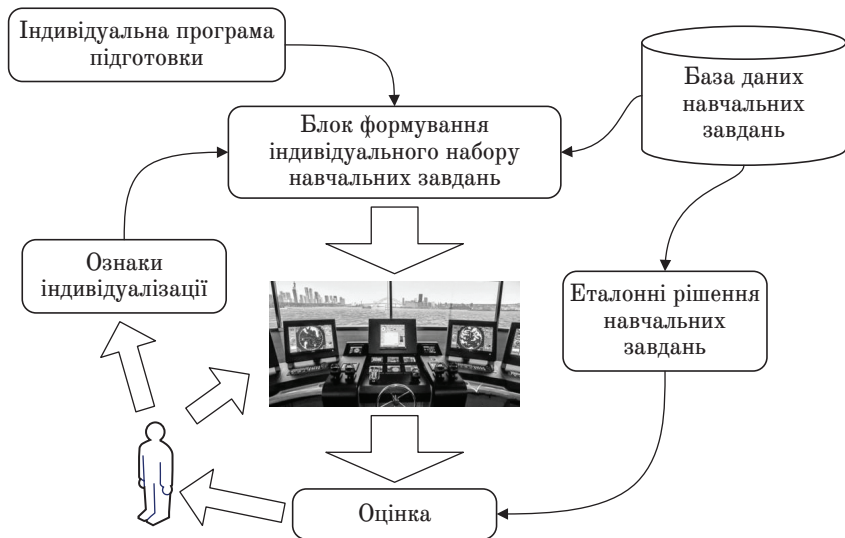


Рис. 3.1. Загальна структура системи автоматизованого контролю діяльності оператора (Джерело: розроблено авторами)

будуть виражені словами, такими як «незадовільна», «задовільна» або «добра». Нечітке правило можна записати так: якщо умова  $X \in A$  виконується (нечітке посилення), тоді впливає виведення  $Y \in B$  — нечітке виведення із посилення.

У процесі автоматизованого поточного і завершального контролю знань (рис. 3.1) використовуються завдання; їхні правила (алгоритми) відповідей (розв'язання); безпосередньо самі відповіді; у більшості випадків оцінки за виконання завдань; нормативи виконання завдань і рекомендації щодо інтерпретації результатів [23; 117—119].

Принципи оцінювання діяльності оператора в системі контролю:

1. Наявність логічної схеми вирішення контрольних завдань.
2. Єдиний підхід до оцінювання знань для різних видів контрольних завдань.
3. Наявність інтегровальних процедур, спрямованих на зменшення часу контролю та кількості запитань.

Логічна схема завдань (ЛСЗ) розробляється викладачем і може бути побудована аналогічно [113]. ЛСЗ має вигляд графа (рис. 3.2) [25].

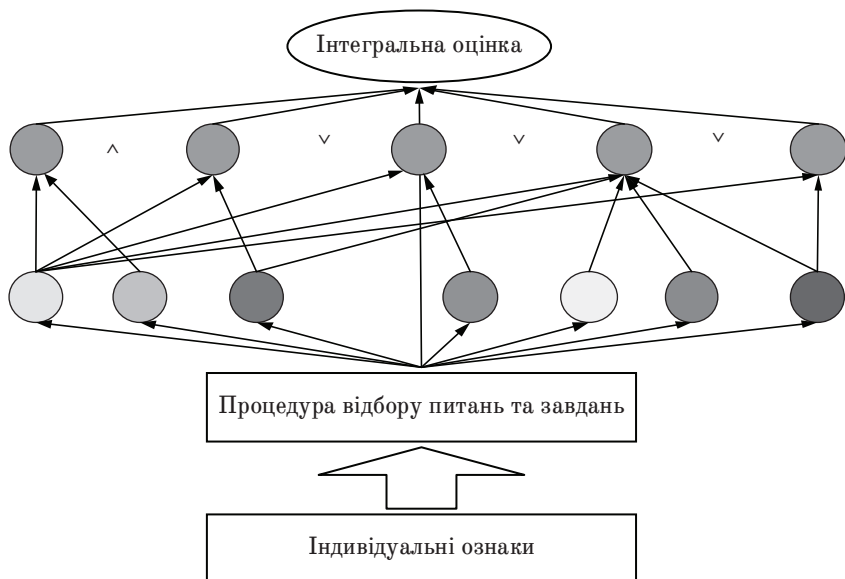


Рис. 3.2. Схеми формування інтегральної оцінки в системі контролю (Джерело: розроблено авторами)

На нижньому рівні подано дані, що характеризують конкретного здобувача освіти. Після вибору запитань (завдань) визначаються такі, які мають кількісну інтерпретацію. Відповіді на них враховуються при визначенні подальшої структури запитань. Під час контролю запитання нижнього рівня обираються відповідно до програми навчання за принципом від простого до складного [131].

У графі є вершини, які мають якісне представлення результатів розв'язання. Вони у вигляді предикатної функції визначають перехід до групи запитань іншого завдання в разі набору певної кількості балів. Є вершини, які мають логічне представлення результату, що формується внаслідок виконання певних кон'юнктивних або диз'юнктивних умов. Вони передбачають перехід до простіших завдань у разі неправильного їх вирішення або закінчення тестування (тренування) у разі відмінних знань (успішного виконання плану навчання). Правильне формування структури ЛСЗ та її інформаційне насичення є першим чинником, який визначає ефективне функціонування системи контролю знань.

### 3.2. Отримання індивідуальних оцінок діяльності

Нормативи підготовки здобувачів освіти індивідуально і в групах повинні мати [28; 123]:

— чотири градації для точних і часових показників якості роботи, що відповідають оцінкам підготовки судноводія — «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно»;

— не менше двох рівнів (градацій) для психофізіологічних показників функціонального стану судноводія, що відповідають оцінкам «підготовлений» і «не підготовлений»;

— рівні (градації) підготовки здобувачів освіти, що відповідають реалізованим рівням ефективності використовуваного зразка автоматизації.

Під час визначення раціональної кількості навчальних завдань спочатку встановлюють кількість найважливіших класифікаційних ознак, що характеризують складність цієї професійної діяльності. До числа таких ознак відносять:

— структуру інформаційної моделі;

— умови сприйняття і переробки вхідної інформації (наприклад, заважаючи впливи, на тлі яких здійснюється ідентифікація корисних сигналів);

— вид прийнятого рішення;

— тип виконавчої дії судноводія та ін.

Далі визначається необхідна кількість градацій кожної ознаки.

Кількість навчальних завдань ( $N_y$ ) обчислюється за формулою:

$$N_y = \prod_{j=1}^n C_j, \quad (3.3)$$

де  $n$  — кількість класифікаційних ознак;

$C_j$  — кількість градацій  $j$ -ї класифікаційної ознаки.

Загалом, кількість навчальних завдань має бути такою, щоб судноводії, які пройшли комплексну підготовку, не відчували труднощів у виконанні завдань. Для встановлення послідовності відпрацювання різнотипних навчальних завдань необхідно визначити їхню складність.

Складність завдання є поняттям відносним. Однак у загальному випадку складність завдання можна визначити через складність алгоритму, що реалізує її вирішення [123; 124]:

$$\gamma_j = \gamma_{0j} A_t \frac{A_L}{A_Z}, \quad (3.4)$$

де  $\gamma_{0j}$  — коефіцієнт пропорційності;

$A_t$  — показник, що характеризує потік завдань у часі;

$A_L$  — показник логічної складності алгоритму навчального завдання;

$A_Z$  — показник стереотипності алгоритму навчального завдання.

Послідовність відпрацювання різнотипних завдань встановлюється відповідно до зростання значень показника складності:

$$\gamma_{j1} < \gamma_{j2} < \dots < \gamma_{jn}. \quad (3.5)$$

Під час відпрацювання однотипних завдань формування навичок з одного з них впливає на вдосконалення навичок виконання інших. Тому при визначенні послідовності їх відпрацювання, поряд зі складністю, для активізації процесу навчання і підвищення його якості необхідно дотримуватися принципу позитивного перенесення отриманих навичок для вирішення нових або ускладнених завдань.

Це дасть змогу визначити ступінь збігу елементарних операцій у навчальних завданнях, що описують процес закріплення типових навичок, що можна формально задати у вигляді  $K_j$ , який характеризує типовість операцій для  $j$ -го завдання:

$$K_j = \frac{\sum_{m=1}^q Z_{mj} S_{mj}}{\sum_{m=1}^q Z_{ij} S_{ij} + \sum_{m=1}^q Z_{mj} S_{mj}}, \quad (3.6)$$

де  $q(n)$  — кількість однакових операцій (дій) у базовому та поточному завданні;

$m(i)$  — номер операцій, що збігаються (не збігаються), у завданні;

$S_{mj}(S_{ij})$  — коефіцієнт значущості операції;

$Z_{mj}(Z_{ij})$  — ознака збігу (розбіжності) операції.

Коефіцієнт ваги операції, що збігається (не збігається) ( $S_{ij}$ ), визначають методом експертних оцінок.

Коефіцієнт збігу (розбіжності) операції визначають таким чином:

$Z_{mj} = 1, Z_{ij} = 0$ , якщо операції збігаються повністю;

$Z_{mj} = Z_{ij} = 0,5$ , якщо операції збігаються частково;

$Z_{mj} = 0, Z_{ij} = 1$ , якщо операції не збігаються.

Процедура визначення послідовності відпрацювання завдань, що відбиває перенесення однотипних навичок і операцій, повинна враховувати значення розрахованого коефіцієнта  $K_j$  для кожного з однотипних завдань і розташувати їх за спадаючими значеннями. Складений таким чином ряд відповідає шуканій послідовності.

Для використання отриманої оцінки збігу елементарних операцій у загальній оцінці діяльності оператора необхідно провести фазифікацію отриманої оцінки.

Формальний опис процесу узагальнення (реальної інтерпретації) оцінки ступеня та логіки алгоритмічного збігу  $\Gamma_j$  подано з використанням формалізованого методу нечіткої логіки. Базову терм-множину  $\Gamma_j$  складають терми: незадовільно, задовільно, добре. Областю значень лінгвістичних змінних  $\epsilon$ :  $X = [0; 100][\%]$ . Функції приналежності  $\mu(x)$  для кожної лінгвістичної змінної та її термів подано в трапецевидній формі [23; 125]:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{інші} \end{cases} \quad (3.7)$$

На *рис. 3.3* наведено подання  $\Gamma_j$  (сукупність  $\mu(x)$  для всіх термів лінгвістичної змінної, представленої у вигляді графічних образів).

Час відпрацювання навчального завдання встановлюється експериментальним шляхом. Для цього за кожною спеціальністю виділяють контрольну групу з 10 здобувачів освіти, які пройшли психологічний відбір.

Відпрацювання завдання судноводієм підконтрольної групи може проводитися до досягнення кожним із них заданого рівня підготовки ( $Q_{\text{зад}}$ ), або до отримання надійних даних про перебіг підготовки, що дають змогу визначити параметри моделі здатності до навчання —  $t_0$ ,  $Q_0$ ,  $Q_{\text{пр}}$  [126; 127].

Час  $t_{ij}$  досягнення  $i$ -м здобувачем освіти заданого рівня підготовки за  $j$ -м завданням обчислюють за формулою:

$$t_{ij} = t_{0ij} \ln \left( \frac{Q_{\text{пр}i} - Q_{0ij}}{Q_{\text{пр}i} - Q_{\text{зад}i}} \right), \quad (3.8)$$

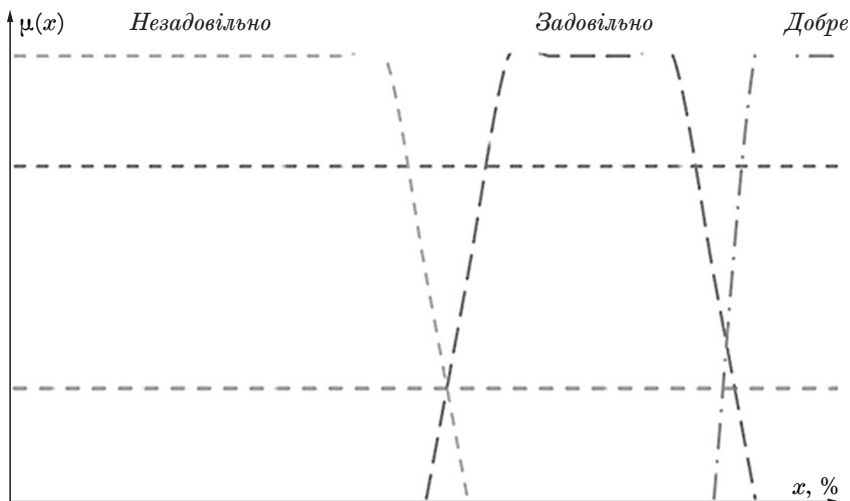


Рис. 3.3. Графічне відображення лінгвістичної змінної  $\Gamma_j$  (Джерело: розроблено авторами)

де  $t_{0ij}$  — коефіцієнт, що характеризує здібності  $i$ -го здобувача освіти до навчання  $j$ -му завданню (в одиницях часу);

$Q_{пр}$ ,  $Q_{0ij}$  — граничне і вихідне (на початку навчання) значення показника якості роботи здобувача освіти, відповідно.

Час індивідуальної та колективної підготовки залежить від специфічних особливостей діяльності окремих або груп здобувачів освіти для конкретного судна. Час, що відводиться для індивідуальної та колективної підготовки, може бути розподілений таким чином.

Попередньо обчислюють час, необхідний для відпрацювання кожної операції конкретного навчального завдання ( $t_{опr}$ ), за формулою:

$$t_{опr} = \frac{S_i}{N_{оп}} t_{пj}, \quad (3.9)$$

де  $S_i$  — коефіцієнт, що враховує вагу  $i$ -ї операції;

$N_{оп}$  — кількість відпрацьованих операцій у завданні;

$t_{пj}$  — час, необхідний для відпрацювання  $j$ -го завдання, який визначається за допомогою моделі здатності до навчання.

Коефіцієнт, що враховує вагу  $i$ -ї операції, розраховують за формулою:

$$S_i = m_i \alpha_i \frac{t_i}{t_{\text{пр}}}, \quad (3.10)$$

де  $m_i$  — коефіцієнт, що враховує кількість логічних умов у  $i$ -й операції;

$\alpha_i$  — коефіцієнт, що враховує тип зв'язку між логічними умовами в  $i$ -й операції;

$t_i$  — час виконання  $i$ -ї операції;

$t_{\text{пр}}$  — час виконання операції, що вимагає найменших часових витрат.

Час, що відводиться на індивідуальну (колективну) підготовку, обчислюють за формулою:

$$t_{\text{п}(k)} = \sum_{j=1}^{N_y} \sum_{i=1}^{M(P)} t_{\text{отр } ij}, \quad (3.11)$$

де  $N_y$  — кількість навчальних задач;

$M(P)$  — кількість операцій, що відпрацьовуються під час індивідуальної (колективної) підготовки за кожним завданням відповідно;

$t_{\text{отр } ij}$  — час відпрацювання  $i$ -ї операції в  $j$ -му завданні, год;

$t_{\text{отр } ij} = (30-50)t_{ij}$ ;

$t_{ij}$  — час, необхідний для одноразового виконання  $i$ -ї операції в  $j$ -му завданні, год.

Тривалість безперервного тренування встановлюють так. Тривалість заняття — 50 хвилин з 10-хвилинною перервою. Встановлюється 7-годинний навчальний день. Для узгодження часу тренувань і занять з вивчення інших дисциплін тривалість тренувань має бути кратною одній годині та з урахуванням перерви не повинна перевищувати 4 год. [80; 84; 127].

За необхідності проведення тестування розробка єдиної методології оцінювання знань в автоматизованій системі базується на класифікації запитань залежно від варіантів відповідей. Як зразок, можна використовувати варіанти запитань із можливими відповідями, запропонованими [123], типу:

- «так — ні»;
- «один із кількох»;
- «кілька з багатьох»;
- «число»;

- «інтервал»;
- «нечіткий інтервал»;
- «слово»;
- «одне або кілька речень».

На сьогоднішній день така класифікація є надлишковою. Але задля зручності розрахунків та збереження структурованості схеми контролю знань у роботі питання вдосконалення даної класифікації не розглядаються. Зосередимо свою увагу на проблемі приведення оцінок за контрольними запитаннями різної природи до єдиної шкали.

Очевидно, що відповіді на запитання типу «так — ні» оцінюються за шкалою  $\{0, 1\}$ . Оцінка відповіді на запитання інших типів теж має належати відрізьку  $[0, 1]$ , при цьому абсолютно правильна відповідь має оцінку «1», а неправильна — «0». Для запитань типу «один із кількох» — за єдино правильну відповідь оцінка «1», за неправильні — «0». Розглянемо запитання типу «кілька з багатьох». Для вірного оцінювання кожній правильній відповіді визначається бал так, щоб сума всіх балів дорівнювала одиниці. Кожен бал визначається виходячи з правильності та важливості відповіді.

Для адекватного оцінювання відповідей-чисел викладач має задати ймовірне значення результату  $m$  та середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  в разі симетричного розподілу можливого результату або  $m$  і  $\sigma_1, \sigma_2$ , якщо розподіл асиметричний.

Тоді інтегральний бал за відповідь розраховується за такими виразами:

$$p = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{m-x_0}^{m+x_0} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx \right) / 0,9973, \quad (3.12)$$

якщо  $p \in (-3\sigma, 3\sigma)$  і  $p = 0$  в іншому випадку.

Для асиметричного розподілу  $p = \frac{p_1}{p_2}$  при  $x_0 \in (m - 3\sigma_1, m)$  отримуємо:

$$p_1 = \int_{x_0}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx, \quad p_2 = \int_{m-3\sigma_1}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx. \quad (3.13)$$

Якщо  $x_0 \in (m, m + 3\sigma_2)$ , то отримуємо:

$$p_1 = \int_m^{x_0} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad p_2 = \int_m^{m+3\sigma_2} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx. \quad (3.14)$$

Для  $x_0 \in (m - 3\sigma_1, m)$ :

$$p_1 = \int_{x_0}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx, \quad p_2 = \int_{m-3\sigma_1}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx. \quad (3.15)$$

Для  $x_0 \in (m, m + 3\sigma_2)$ :

$$p_1 = \int_m^{x_0} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad p_2 = \int_m^{m+3\sigma_2} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad (3.16)$$

і  $p = 0$  в інших випадках. При визначенні міри правильності відповіді скористаємося правилом  $3\sigma$ .

Розглянемо такий різновид відповідей — у вигляді інтервалів. Якщо здобувач освіти подає відповідь у вигляді інтервалу  $(\alpha, \beta)$ , а еталонна відповідь  $(a, b)$ , то бал за відповідь визначається таким чином:

$$\begin{aligned} p &= 0, \text{ якщо } (\beta \leq \alpha) \vee (a \geq b); \\ p &= 1, \text{ якщо } (\alpha \leq a) \wedge (\beta \leq b); \\ p &= \frac{b-\alpha}{b-a}, \text{ якщо } (a < \alpha) \wedge (\beta > b); \\ p &= \frac{\beta-a}{b-a}, \text{ якщо } \alpha < a < \beta < b. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Найскладнішою щодо оцінювання є відповідь у вигляді нечіткого інтервалу [126]. Нехай здобувач освіти вказує на інтервал  $(\underline{m}, \overline{m}, \alpha, \beta, h)$  як правильний, а еталонним є інтервал  $(\underline{M}, \overline{M}, A, B, H)$ . Уявімо, що  $h = H = 1$ , яке свідчитиме про те, що здобувач освіти повністю впевнений у своїй відповіді. Тоді будемо вважати, що оцінка  $p = 0$ , якщо:

$$(\overline{m} + \beta < \underline{M} - A) \vee (\overline{M} + B < \overline{m} + \beta); \quad (3.18)$$

і  $p = p_1 + p_2$ , де

$$p_1 = \frac{\text{len}([\underline{m}, \overline{m}] \cap [\underline{M}, \overline{M}])}{\text{len}([\underline{M}, \overline{M}])}; \quad (3.19)$$

$$p_2 = \frac{k_1 \text{len}(np([\underline{m} - \alpha, \underline{m}] \cap [\underline{M} - A, \overline{M} + B])) + k_2 \text{len}(np([\overline{m}, \overline{m} + \beta] \cap [\underline{M} - A, \overline{M} + B]))}{\text{len}([\underline{M} - A, \underline{M}] \cup [\overline{M}, \overline{M} + B])}, \quad (3.20)$$

де  $k_1, k_2$  — коефіцієнти, які відображають міру перетину та скошеності графіків функцій приналежності;  
 $\text{len}(\ast)$  — функція довжини.

Запитання з відповідями типу «слово» оцінюється за синонімічною ознакою. Прикладом таких запитань є таке: «Якщо об'єкт має зазначені властивості, то як він називається?» Кожному слову-синоніму призначається бал — оцінка семантичної відповідності правильній відповіді. Єдина абсолютно правильна відповідь оцінюється «1», неправильна — «0». Решта відповідей, що відповідають синонімічному ряду, отримують оцінку в інтервалі (0, 1).

Якщо запитання передбачає розширену відповідь у вигляді одного або кількох речень, то оцінити її автоматизованою системою на сучасному рівні розвитку можливо тільки з використанням великих мовних моделей, які не завжди є досяжними. Тоді таку відповідь може оцінити лише інструктор. Тому використання цього методу контролю для критичних систем, до яких можна віднести систему управління судном, не виправдане і надалі не розглядається

Однією з найбільш важливих є оцінка за час виконання операцій. Позначимо цей показник як «виконання часових нормативів»  $Q_t$  [119].

ФП є ключовим елементом у теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Використані у даній роботі трапецієвидні ФП дають змогу кількісно оцінювати ступінь приналежності елементів до певних категорій (термів), що особливо важливо під час роботи з лінгвістичними змінними. Розглянемо види функцій приналежності, пороги приналежності значень, а також області значень аргументів під час оцінювання ступеня приналежності, необхідних для прийняття рішень на основі нечіткої логіки.

Поріг (П) приналежності визначає мінімальне значення, за якого елемент може вважатися таким, що належить до нечіткої множини. Це значення критично важливе для прийняття рішень й оцінювання, оскільки воно допомагає встановити межі між різними категоріями.

Область значень аргументів охоплює діапазон значень, які можуть бути використані для оцінки лінгвістичних змінних.

Таким чином можна подати такі процедури дій.

1. Формується таблиця відповідності між значенням оцінюваного параметра та його лінгвістичним термом (*табл. 3.1*).

## Співвідношення значень параметрів і лінгвістичних термів

Терм	Незадовільно	Задовільно	Добре
Межі $t_k, c$	$t_k > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < t_k \leq \Gamma_2$	$t_k < \Gamma_1$

*Джерело: розроблено авторами*

Існують два основні методи визначення порогів приналежності:

а) метод експертних оцінок, в якому пороги встановлюються на основі думок експертів у відповідній галузі. Експерти аналізують дані, спостереження і свій досвід, щоб визначити найбільш підходящі пороги для конкретного завдання. Цей метод особливо корисний, коли кількісні дані обмежені або недоступні;

б) використання даних, отриманих на контрольних групах, коли пороги визначають на основі аналізу даних, зібраних із контрольних груп, які представляють цікаву для вас популяцію. Наприклад, у системі оцінювання рівня рідини в баку дані про фактичні рівні рідини можна зібрати та проаналізувати, щоб визначити оптимальні пороги для класифікації значень як «низькі», «середні» або «високі».

Формально пороги можна задати таким чином [121]:

$$\Gamma_j = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{ij} \mathcal{E}_{ij}}{\sum_{i=1}^n \alpha_{ij}}, \quad (3.21)$$

де  $i \in [1, m]$ ;

$j = 1, 2$ ;

$m$  — кількість експертів;

$\mathcal{E}_{ij}$  — значення  $j$ -го порога, що задається  $i$ -м експертом;

$\alpha_{ij}$  — ваговий коефіцієнт, що відображає ступінь довіри  $i$ -му експерту.

2. Визначення відсотка квітування, що відповідає кожному терму, є важливим завданням у межах нечіткої логіки та теорії нечітких множин. Цей відсоток можна інтерпретувати як норматив часу, необхідного для виконання певного завдання або досягнення результату. У цьому контексті відсоток квітування відображає ступінь упевненості в тому, що певний лінгвістичний термін адекватно описує реальний стан процесу навчання (табл. 3.2).

## Приклад розподілу квітування за термами

Оцінка	Незадовільно	Задовільно	Добре
% квітування	5	6	89

*Джерело: розроблено авторами*

Відсоток квітування може бути визначений різними методами:  
— аналіз історичних даних: збір та аналіз даних про виконання конкретних операцій;

— експертні оцінки: у випадках, коли дані недостатні або відсутні, можна звернутися до експертів у цій галузі. Підкласом такого підходу буде використання нормативної та технічної документації;

— статистичні методи, використовувані для обробки зібраних даних. Наприклад, можна використовувати методи регресійного аналізу для виявлення залежності між різними змінними і термами.

### 3. Отримання значень функцій приналежності.

Правило виведення (конкретизація значення) лінгвістичної змінної  $O_i$  формалізовано методом нечіткої логіки. Базову термножину  $O_i$  складають терми: незадовільно, задовільно, добре. Область міркувань  $X = [0; 100][\%]$ . Функції приналежності  $\mu(x)$  для кожного терма задано у вигляді трапеції:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{інше} \end{cases}. \quad (3.22)$$

Результати опису лінгвістичної змінної  $O_i$  (сукупність  $\mu(x)$  для всіх термів, виділених як рівні даної лінгвістичної змінної) наведено на *рис. 3.4*.

Прийняття рішення демонструє такий приклад.

Для  $x = 85\%$ :  $\mu_1(x) = 0,25$  — ступінь приналежності терму «незадовільно»,  $\mu_2(x) = 0,25$  — ступінь приналежності терму «задовільно»,  $\mu_3(x) = 0,75$  — ступінь приналежності терму «добре». Підсумковий результат має такий вигляд:  $X(0,75)$ ,  $Y(0,25)$ ,  $H(0)$ .

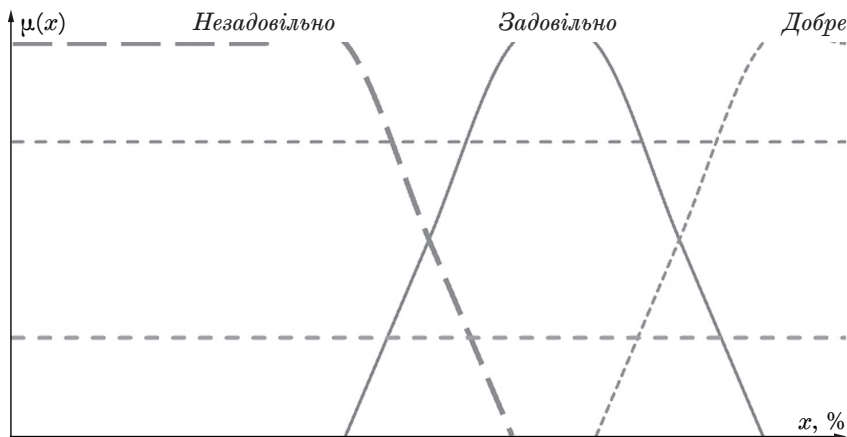


Рис. 3.4. Графічне відображення лінгвістичної змінної  $O_i$  (Джерело: розроблено авторами)

4. Розрахунок значення  $Q_i$  виконується таким чином.

**Правило 1.** Визначаємо терм з найбільшим значенням функції приналежності  $\mu_i(x) = \max(i)$ . Як видно з результатів розрахунку, в даному випадку — це терм «добре».

**Правило 2.** Задамо правило, згідно з яким у разі, якщо значення одного з термів і функції приналежності  $\mu_i(x)$  менше за поріг  $\mu_i(x) < K$ , де  $K$  — заданий поріг, то значення лінгвістичної змінної  $O_i$  дорівнює тому терму, що набуває максимального значення з двох, що залишилися  $O_i \leftarrow \max(j \neq i) \mu_j(x)$ . В іншому разі лінгвістична змінна набуває значення того терму, значення функції приналежності якого  $\mu_j(x) \geq K$  і максимальне.

Показник — «час реалізації дій оператором, спрямованих на усунення наслідків помилкових дій ( $T$ ) ( $O_T$ )».

Задаються вид ФП термів лінгвістичної змінної, порогові значення порогу функції приналежності для прийняття рішення про значення лінгвістичної змінної, а також області допустимих значень лінгвістичної змінної, які відповідають описуваному реальному процесу практичної діяльності.

1. Розробляється таблиця для визначення значення оцінюваного параметра і його терму у лінгвістичній змінній для всієї множини помилкових дій під час виконання практичних завдань здобувачами освіти (табл. 3.3).

Відповідності між значенням оцінюваного параметра і його лінгвістичним термом

Терм	Незадовільно	Задовільно	Добре
Помилкова дія 1			
Межі $T$ , с	$T > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < T < \Gamma_2$	$T \leq \Gamma_1$
Помилкова дія 2			
Межі $T$ , с	$T > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < T < \Gamma_2$	$T \leq \Gamma_1$
...			
Помилкова дія $n$			
Межі $T$ , с	$T > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < T < \Gamma_2$	$T \leq \Gamma_1$

*Джерело: розроблено авторами*

2. Обчислюється частка невірних або помилкових операцій і дій, однак при цьому здобувач освіти вклався в часові нормативи і відповідні їм часові інтервали, кожному з яких відповідає певний терм (табл. 3.4):

Таблиця 3.4

*Приклад розподілу  $T$  за термами*

Оцінка	Незадовільно	Задовільно	Добре
% помилкових дій	5	6	89

*Джерело: розроблено авторами*

3. Отримання значень функцій приналежності.

У цьому прикладі розглянемо, як за допомогою нечіткої логіки можна формалізувати правило виведення для лінгвістичної змінної  $O_T$  із заданою терм-множиною і функціями приналежності. Нехай базову терм-множину (область значень) лінгвістичної змінної  $O_T$  складають терми: «незадовільно», «задовільно», «добре». Область значень лінгвістичної змінної позначимо як  $X$ , де  $X = [0; 100][\%]$ . ФП для кожного терму задано трапецеїдально:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{інші} \end{cases} \quad (3.23)$$

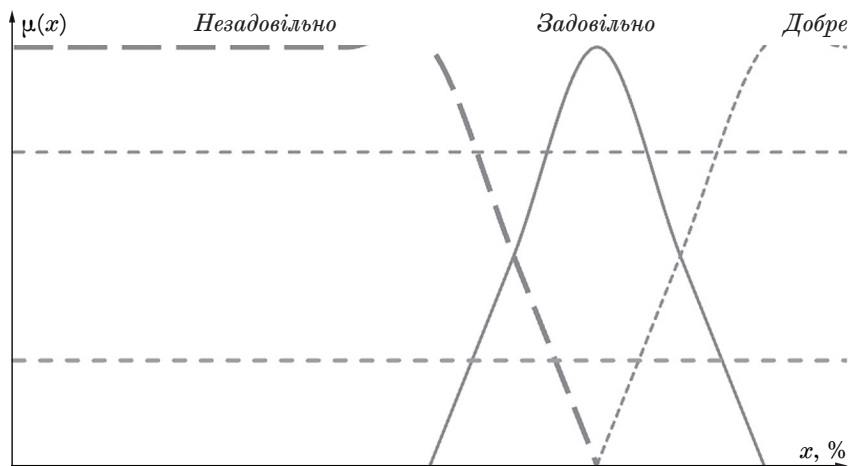
На *рис. 3.5* подано графічне відображення  $O_T$ . Наведений приклад демонструє, як за допомогою нечіткої логіки можна визначити, до якого терму належить конкретне значення лінгвістичної змінної, що є важливим для прийняття рішень в умовах невизначеності.

4. Визначення значення  $O_T$  за сукупністю правил, аналогічних  $O_f$ .

Показник — «адекватність» ( $O_A$ ).

Задано: вид функцій приналежності термів, поріг значень ФП для прийняття рішення про значення лінгвістичної змінної, область значень лінгвістичної змінної (аргументів ФП).

Визначити відсоток помилок, під час ліквідації яких оператор діяв адекватно щодо кожного введеного терму лінгвістичної змінної (*табл. 3.5*).



*Рис. 3.5.* Графічне відображення лінгвістичної змінної  $O_T$  (Джерело: розроблено авторами)

*Співвідношення значень параметра та лінгвістичних термів*

Оцінка	Незадовільно	Задовільно	Добре
% помилкових дій	$A < \Gamma_2$	$\Gamma_2 < A < \Gamma_1$	$A > \Gamma_1$

*Джерело: розроблено авторами*

Сумарний бал підраховується з використанням уже відомих адитивних чи мультиплікативних процедур, оскільки всі оцінки приведені до шкали [0, 1].

Таким чином, об'єднання двох способів побудови логічної схеми задач оцінювання та приведення до єдиної шкали всієї множини відповідей — дає змогу ефективного проєктування та створення автоматизованих систем контролю знань у тренажерних комплексах.

Будь-яка автоматизована система контролю знань є ефективною, лише коли вона здатна адаптивно реагувати на кожного здобувача освіти під час проведення тестування. Така адаптація має передбачати самоорганізацію як структури логічної схеми задач, так і наповнення інформаційної бази. Ефект, який буде досягнуто в результаті цих процедур, забезпечить оптимальну роботу здобувачів освіти і викладачів над оцінюванням знань [123; 126; 127].

Запропонований метод дає змогу отримувати інтегральну оцінку ефективності діяльності здобувачів освіти на підставі декількох способів отримання оцінок:

- інтервали оцінок, отриманих на підставі знань експертів;
- аналіз результатів реальної тривалості здобувачів освіти під час тренажерної підготовки;
- статистичні методи обробки результатів тестування (оцінювання) діяльності операторів [128; 129].

### **3.3. Інтегральна оцінка операторської діяльності**

Результати оцінювання діяльності здобувачів освіти під час тренажерної підготовки можуть бути представлені різними способами. У цій роботі буде використано підхід отримання підсумкового або інтегрального оцінювання різних видів діяльності з використанням

лінгвістичних змінних і положення теорії нечітких мір і множин для їхнього опису.

Для представлення результатів інтегрального оцінювання введемо такі терми значення лінгвістичної змінної: незадовільно (Незадов.), задовільно (Задов.), добре (Добре). Загальна (інтегральна) оцінка є функцією оцінок часткових показників:

$$M = F(O_v, O_A, O_T, G_j). \quad (3.24)$$

Для кожної лінгвістичної змінної  $H$ ,  $Y$  або  $X$  отримано оцінки значень їхніх термів. Для спільного оцінювання розроблено формальний алгебраїчний процес, що описує взаємодію лінгвістичних змінних термів, заданих за допомогою операцій, наведених у *табл. 3.6*.

Т а б л и ц я 3.6

*Правила додавання в алгебрі лінгвістичних термів*

Складові	Незадовільно	Задовільно	Добре
Незадовільно	Незадовільно	Незадовільно	Незадовільно
Задовільно	Незадовільно	Задовільно	Задовільно
Добре	Незадовільно	Задовільно	Добре

*Джерело: розроблено авторами*

У цьому випадку Незадовільно + Задовільно + Добре = Незадовільно; Добре + Добре + Задовільно = Задовільно тощо. Ця оцінка може бути отримана як за окреме завдання, набір операцій, або за інтервал часу чи вирішення комплексу завдань. На *рис. 3.6* наведено структуру методу формування узагальненої оцінки тренажерної підготовки оператора [23].

Узагальнену структуру методу оцінювання діяльності оператора наведено на *рис. 3.7* [23].

Останніми роками спостерігається значний інтерес до розроблення методів та інструментів, що дають змогу точніше й об'єктивніше оцінювати як індивідуальну, так і групову діяльність здобувачів освіти. У зв'язку з цим було створено апарат формалізації правил, який ґрунтується на теорії нечітких множин. Ця методологія являє собою інноваційний підхід, що дає змогу інтегрувати

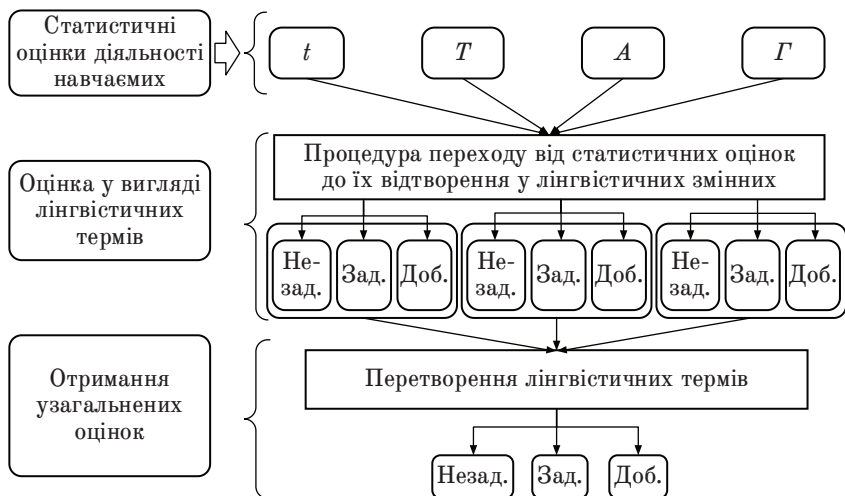


Рис. 3.6. Метод отримання узагальненої оцінки діяльності оператора з використанням нечітких термів (Джерело: розроблено авторами)

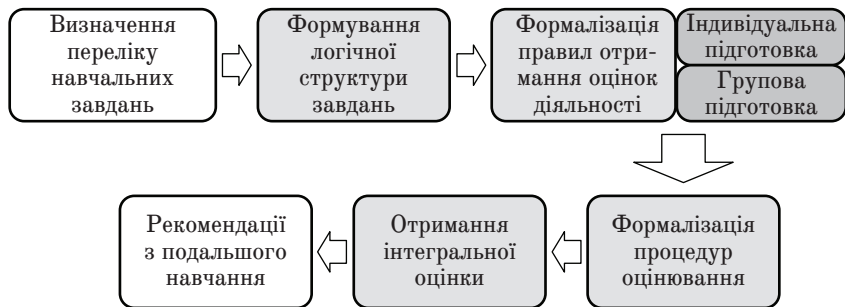


Рис. 3.7. Структура методу оцінки діяльності оператора (Джерело: розроблено авторами)

оцінки різної природи в єдину формальну систему, що значно спрощує процес аналізу та інтерпретації результатів.

Розроблений апарат формалізації правил оцінювання містить кілька ключових компонентів:

— система термів, у рамках якої визначаються лексичні одиниці, які використовуються для опису рівня досягнень здобувачів освіти. Кожен з цих термів матиме свою функцію приналежності,

яка визначає, наскільки конкретне значення (наприклад, бал або відсоток) відповідає цьому терму;

— функції приналежності, розроблювані для кожного терму, дають змогу кількісно оцінити ступінь відповідності між оцінкою і термом. Ці функції можуть набувати різних форм, включно з трикутними, трапецеїдальними або гаусовими функціями, залежно від специфіки оцінювання;

— правила виведення, які формулюються на основі заданих функцій приналежності, які дають змогу перетворювати вхідні дані (оцінки) у вихідні значення (оцінки за термами). У роботі реалізовано алгебраїчний підхід до розв'язання цієї задачі.

Отримані інтегральні оцінки забезпечують об'єктивність контролю діяльності судноводіїв і рекомендації щодо їх подальшого навчання.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ ТА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ

### 4.1. Удосконалення інформаційного середовища тренажерного комплексу

При управлінні судном судноводій спирається на інформацію про стан керованого об'єкта та елементів його оточення, яка надходить до нього різними каналами зв'язку. Ця інформація формує в його свідомості інформаційну модель об'єкта управління й елементів надводної обстановки, декодовану у вигляді концептуальної моделі. Така модель дає йому змогу орієнтуватися у складному динамічному середовищі і приймати обґрунтовані рішення [78; 89].

Сучасні інформаційні технології надають можливості для розробки навчальних інформаційних моделей, що забезпечують повноту й якість імітації реальних процесів. В основі цих моделей лежать методичні принципи, що забезпечують їх адаптивність до рівня підготовки і дій здобувачів освіти. Це означає, що моделі можуть бути налаштовані на різні рівні складності і динаміки залежності від рівня підготовки здобувачів освіти [120].

Однак існуючі тренажери для навчання судноводіїв мають обмежені можливості у створенні адаптивного інформаційного середовища, яке б імітувало різні ситуації і варіанти відображення елементів обстановки. Сценарії, що формуються на тренажерах, часто однотипні і не дозволяють задавати різні рівні складності і динаміки залежно від рівня підготовки здобувачів освіти. Це може привести до стереотипних дій оператора, коли одна і та ж ситуація при формуванні початкових умов для навчання породжує у нього звичні, але малоефективні дії.

Тому важливо забезпечити оператору такі умови діяльності, при яких не відбувалося б трансформацій сприйняти, що призводять до неефективних дій. Для цього необхідно розробити більш досконалі тренажери, які можуть моделювати різні ситуації і варіанти відображення елементів обстановки, а також забезпечувати адаптивність до рівня підготовки і дій здобувачів освіти. Це дозволить судноводіям розвивати більш ефективні навички та стратегії керування суднами в різних умовах.

Для інформаційного забезпечення процесу тренажерного навчання судноводіїв сформуємо початкові умови відображення елементів інформаційного оточення та варіанти відображення інформаційної моделі.

Тренажер, в якому використовується інтелектуальна система, побудована на основі нечіткої логіки, дозволяє отримати більш обґрунтовані і реалістичні результати в порівнянні з системами з використанням традиційних аналітичних моделей та алгоритмів управління [23; 26; 30; 125].

Для вибору початкових умов відображення елементів оточення відповідної інформаційної моделі використовувався алгоритм логічного виведення Ларсена. Приклад формування початкових умов відображення елементів інформаційного оточення для трьох варіантів інформаційної моделі ( $y_1$  = спрощена,  $y_2$  = проста,  $y_3$  = складна) наведений на *рис. 4.1, 4.2, 4.3*.

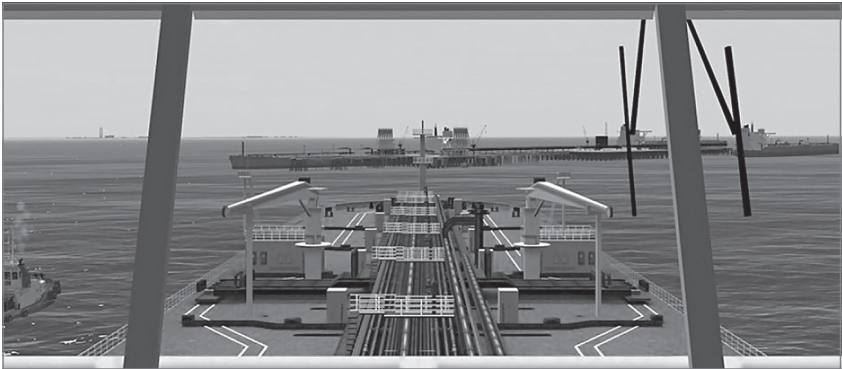
Вхідними даними для системи нечіткого виведення служать початкові значення параметрів обстановки і характеристик руху суден. Вони представлені у вигляді нечітких лінгвістичних змінних, наприклад «азимут», «дальність», «курс», «швидкість» та ін., що описують стан судна і навколишнього середовища. Ці змінні є нечіткими, оскільки вони можуть набувати невизначених значень, які важко описати точними числовими значеннями.



*Рис. 4.1.* Приклад відображення елементів обстановки для інформаційної моделі «спрощена» (Джерело: розроблено авторами)



*Рис. 4.2. Приклад відображення елементів обстановки для інформаційної моделі «проста» (Джерело: розроблено авторами)*



*Рис. 4.3. Приклад відображення імітаційних елементів інформаційної моделі «складна» (Джерело: розроблено авторами)*

Вихідними параметрами системи НВ є нечітка лінгвістична змінна «інформаційна модель». Ця змінна є комплексною моделлю обстановки і характеристик руху суден, яка формується на основі вхідних даних.

Таким чином, запропоновано метод формування інформаційного середовища для навчання судноводія на базі інтелектуальної системи. Цей метод дозволяє сформувати набір початкових умов відображення елементів обстановки відповідної інформаційної моделі в залежності від значень вхідної інформації. У такій системі вправи динамічної складності генеруються залежно від рівня підготовки здобувачів освіти.

Такий підхід дозволяє здобувачам освіти розвивати вміння креативно мислити в нестандартних ситуаціях, набувати навичок і вмінь управління суднами й екіпажами на тлі різноманітних форм і методів моделювання елементів обстановки. Крім того, такий підхід дозволяє уникнути монотонного повторення рутинних елементів діяльності, що сприяє підвищенню ефективності навчання і вдосконаленню майстерності судноводіїв.

Використання нечіткої логіки та інтелектуальних систем у навчанні судноводіїв дає змогу створити реалістичніше й динамічніше середовище навчання, яке імітує реальні умови керування суднами. Це дає змогу здобувачам освіти розвивати навички та вміння, які необхідні для ефективного керування суднами в різних ситуаціях, і підвищує безпеку судноплавства.

Основні результати моделювання початкових умов відображення елементів інформаційної моделі в наявних тренажерах і за використання запропонованого методу формування інформаційного середовища навчання наведено в *табл. 4.1* [26; 30]

Т а б л и ц я 4.1

*Порівняльна характеристика основних результатів моделювання вхідних умов відображення елементів обстановки в існуючих тренажерах і при використанні запропонованого методу*

Можливості тренажерів	Тренажно-моделювальний комплекс «Kongsberg Gruppen's K-Sim»	Тренажно-моделювальний комплекс «Wärtsilä's Voyage Simulation»	Перспективний тренажер на основі запропонованих методів
Рівень складності формованих вправ залежно від рівня підготовки судноводія	не передбачено	може задаватися	задається автоматично

Можливості тренажерів	Тренажно-модельовальний комплекс «Kongsberg Gruppen's K-Sim»	Тренажно-модельовальний комплекс «Wärtsilä's Voyage Simulation»	Перспективний тренажер на основі запропонованих методів
Індивідуалізація умов проведення тренажу	ні	ні	так
Визначення рівня підготовки оператора	ні	ні	так
Можливість формувати радіолокаційне поле	ні	так	так
Повнота вирішуваних завдань	обмежено	не обмежено	не обмежено
Можливість формувати вихідні дані та параметри руху різних суден	обмежено	не обмежено	не обмежено, формується інтелектуальною системою
Контроль дій здобувачів освіти на всіх етапах тренування	здійснює інструктор	здійснює інструктор	здійснюється системою управління якістю підготовки оператора та інструктором
Обробка даних об'єктивного контролю та оцінка діяльності: формування часткових і комплексних оцінок якості діяльності	здійснює інструктор	здійснює інструктор	здійснюється системою управління якістю підготовки оператора
Гнучкість управління тренуванням: зупинка, повернення, повтор, варіювання масштабу часу, управління ситуаціями	обмежено	так	так

*Джерело: розроблено авторами*

Таким чином, запропонований підхід дає змогу більш повно формувати початкові умови відображення інформації для проведення тренажерної підготовки.

## **4.2. Ефективність вирішення завдань управління суднами й екіпажами**

Оцінка ефективності діяльності судноводія в умовах мінливого інформаційного забезпечення є найважливішим аспектом підвищення безпеки та ефективності судноплавства. Для досягнення цієї мети пропонується використовувати модель орієнтованого графа, що дає змогу аналізувати процес прийняття рішень судноводієм у різних ситуаціях.

Модель, наведена на *рис. 1.4* і *1.5* відображає зміни в імовірностях переходів між подіями та інтервалах часу, що витрачаються на перехід від однієї події до іншої, залежно від ступеня підготовленості судноводія. Це дає змогу враховувати вплив проблемного навчання на зниження ймовірності помилок під час виконання різних операцій [28].

У результаті дослідження запропонованої моделі було отримано оцінки часових витрат на виконання різних операцій, пов'язаних з окремими діями здобувачів освіти. Результати досліджень діяльності судноводіїв наведено на *рис. 4.4* і *4.5*.

Аналіз результатів показує, що використання орієнтованого графа дає змогу ефективно оцінювати діяльність судноводія в умовах мінливого інформаційного забезпечення. Модель дає змогу виявляти найбільш критичні моменти у процесі прийняття рішень й оптимізувати процес навчання судноводіїв для зниження ймовірності помилок.

Крім того, результати дослідження дають змогу зробити висновок про те, що проблемне навчання є ефективним способом зниження ймовірності помилок під час виконання різних операцій. Це підтверджується зниженням імовірностей помилок у результаті проблемного навчання, що відображено в моделі орієнтованого графа.

Загалом запропонована модель і результати дослідження дають змогу зробити висновок про те, що орієнтований граф є ефективним інструментом для оцінки діяльності судноводія в умовах мінливого інформаційного забезпечення. Це дає змогу оптимізувати

процес навчання судноводіїв і підвищити безпеку та ефективність судноплавства.

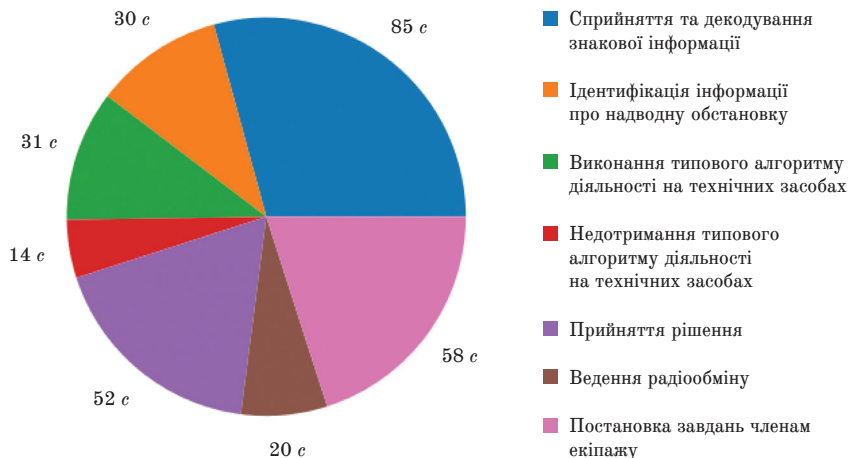


Рис. 4.4. Діаграма розподілу часу (с), витраченого судноводієм після завершення тренажерної підготовки у процесі вирішення практичних завдань (Джерело: розроблено авторами)

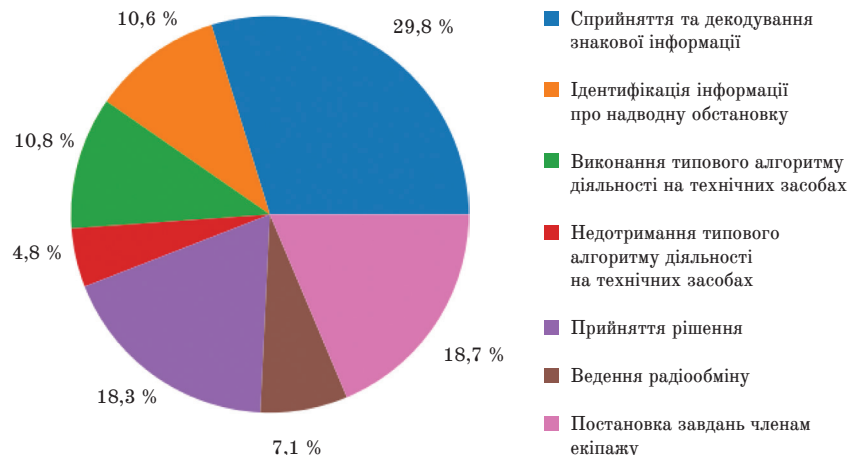
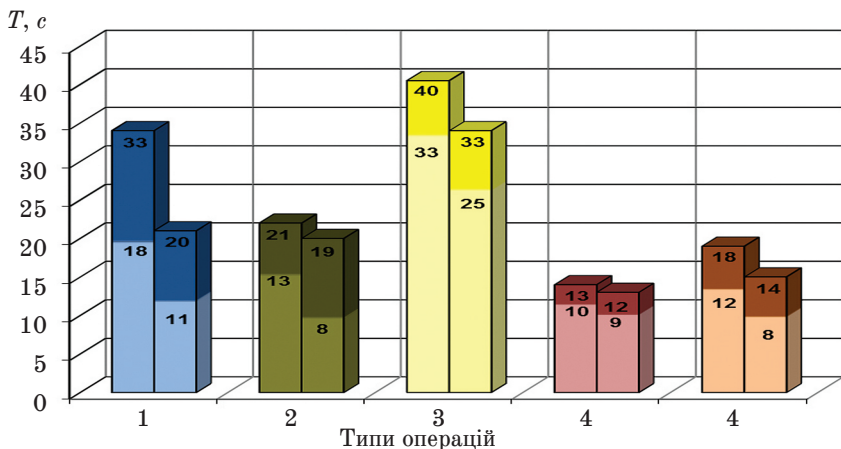


Рис. 4.5. Відносні витрати часу (%) судноводія після завершення тренажерної підготовки у процесі вирішення практичних завдань (Джерело: розроблено авторами)

Опрацювання результатів моделювання показало, що в усіх типах операцій оператор може припускатися помилок. При цьому результати порівняльної оцінки розподілу часу, що витрачається на виявлення і виправлення помилок за типами операцій, наведено на *рис. 4.8*. Так, у модифікованій моделі на помилки сприйняття і декодування знакової інформації витрачається 11...20 с, помилки ідентифікації інформації — 8...19 с, помилки виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах — 25...33 с, на помилки прийняття рішення — 9...12 с, помилки ведення радіообміну — 8...14 с.

Таким чином, використання розроблених методів дало змогу підвищити якість роботи судноводіїв, а саме скоротити час вирішення завдання прийняття рішень і виконання керуючих впливів за мінімізації помилок у його роботі. Так, час на помилки сприйняття і декодування знакової інформації скоротився на 40 %, на помилки ідентифікації інформації — на 39 %, на помилки виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах — на 18—24 %, на помилки прийняття рішення — на 8—10 %, на помилки ведення радіообміну — на 22—33 %.



*Рис. 4.6.* Результати порівняльної оцінки розподілу часу, що витрачається на виявлення та виправлення помилок за типами операцій (*Джерело: розроблено авторами*):

1 — помилки сприйняття і декодування знакової інформації; 2 — помилки ідентифікації інформації про надводну обстановку; 3 — помилки виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах; 4 — помилки прийняття рішення; 5 — помилки ведення радіообміну

### 4.3. Оцінка ефективності розробленого тренажера для підготовки судноводіїв

Навчання судноводіїв за допомогою тренажерів є найважливішим аспектом їхньої підготовки до управління суднами та екіпажами. Основним завданням застосування тренажерів у навчанні судноводіїв є прищеплення певних знань, умінь і навичок, а також їхня автоматизована або автоматична перевірка та оцінка їхніх дій. Для досягнення цієї мети необхідно визначити основні вимоги до судноводія, незалежно від його рівня кваліфікації.

До основних вимог до судноводія належать [9; 47; 49; 52; 58]:

- вироблення навичок правильного прийняття управлінських рішень в умовах складного інформаційного середовища. Це передбачає вміння аналізувати складні ситуації, виявляти проблеми та приймати ефективні рішення;

- вироблення навичок і вмінь операторської роботи з обладнанням. Це передбачає вміння працювати з різним обладнанням, включно з навігаційними системами, системами зв'язку та іншими;

- уміння застосовувати знання правил і процедур для управління суднами та екіпажами, а також прийняття рішень, як у штатних, так і в позаштатних ситуаціях. Це передбачає вміння застосовувати теоретичні знання на практиці та приймати рішення виходячи з конкретних обставин.

Вироблення навичок управління судном і екіпажем є найважливішим завданням тренажерної підготовки. Для досягнення цієї мети використовуються вправи, сценарії яких поєднують у собі функціональні можливості тренажера і методик, що застосовуються інструктором для вирішення поставлених у програмі навчання завдань. Ці вправи дають змогу судноводієві розвинути навички оперативної діяльності в нормальних, нестационарних і аварійних ситуаціях.

Метою операторської підготовки є оволодіння навичками оперативної діяльності, що забезпечують задані показники роботи. Сформовані при цьому навички повинні служити завданню прийняття найкращих рішень під час управління екіпажами. Для досягнення цієї мети використовують різні методи і підходи, включно із симуляцією різних ситуацій, тренінгом зі зворотним зв'язком та ін.

Загалом навчання судноводіїв за допомогою тренажерів є найважливішим аспектом їхньої підготовки до управління суднами та екіпажами. Воно дає їм змогу розвинути необхідні навички

та вміння, а також автоматизовано або автоматично перевірити й оцінити їхні дії. Це, своєю чергою, забезпечує підвищення безпеки та ефективності судноплавства.

Тренажер для підготовки судноводія має бути ефективним не тільки з функціонального, а й з методологічного та економічного погляду, тобто він має забезпечувати досягнення показників навчання за такими критеріями [57—67; 80—96]:

— повнота охоплення навчальних завдань, орієнтованих на кожного здобувача освіти;

— адекватність навчальної програми цілям і змісту курсу підготовки судноводіїв;

— витрати на тренажерне забезпечення підготовки.

Перераховані критерії дають змогу оцінити ефективність тренажерної підготовки, порівняти тренажери і забезпечити динамічну оцінку їхнього розвитку [80—96].

Для визначення ефективності використання тренажера в навчальному процесі необхідно враховувати вимоги кваліфікаційних характеристик і факторів, що визначають відповідність тренажера конкретним завданням підготовки судноводіїв [80]. Для цього введемо показник адекватності кваліфікаційної характеристики ( $F$ ) і сформуємо склад чинників ( $K$ ), що впливають на оцінювання адекватності та ефективності використання тренажера в процесі підготовки [106].

Таким чином, запропоновані оцінки тренажерів визначають відповідність даного тренажера вимогам підготовки. А саме здатність вирішувати конкретні завдання тренажерної підготовки та забезпечити необхідний рівень компетентності.

Для оцінки ефективності тренажера треба визначити:

1. Які завдання і вправи можуть бути відпрацьовані на тренажері.

2. Які компетентності, із зазначених у кваліфікаційній характеристиці, можуть бути забезпечені тренажером.

3. Які функції обладнання реалізовані в тренажері.

4. Які методи оцінювання реалізовані в тренажері.

Розглянемо оцінку адекватності тренажера для підготовки судноводія.

Адекватність кваліфікаційній характеристиці визначається чотирма факторами.

1. Повнота вирішуваних завдань ( $K_1$ ), тобто відношення кількості забезпечуваних тренажером завдань до повного числа завдань

курсу підготовки:

$$K_1 = \frac{K_{p_1}}{K_{\text{необх}_1}}, \quad (4.1)$$

де  $K_{p_1}$  — кількість завдань, які дозволяє реалізувати тренажер;  $K_{\text{необх}_1}$  — кількість завдань, які необхідно вивчити судноводієві з повної кількості завдань (компетентностей) кваліфікаційної характеристики.

Першим слід розглянути той варіант, коли тренажер дає змогу вирішувати всі завдання, тобто забезпечується повнота їхнього вирішення, а отже  $K_1 = 1$ .

Другий варіант — тренажер дає змогу вирішувати частину поставлених програмою завдань  $0 \leq K_1 \leq 1$ .

Третій можливий варіант — тренажер не дає змоги вирішити жодного завдання з кваліфікаційної характеристики фахівця,  $K_1 = 0$ . Це означає, що відсутня повнота вирішуваних тренажером завдань.

## 2. Конфігурація тренажера $K_2$ .

Відповідність конфігурації тренажера завданням тренажерної підготовки. Конфігурацію визначають як сукупність програмного забезпечення та апаратних засобів, що забезпечують вирішення певного переліку завдань. Стосовно тренажерів для підготовки судноводіїв цей параметр визначає можливість навчання процедур, методик і практики управління під час вирішення різних завдань. Таким чином, фактор конфігурації визначає можливість створення тренажером інтегрованого інформаційного середовища для відпрацювання дій у реальному часі:

$$K_2 = \frac{K_{p_2}}{K_{\text{необх}_2}}, \quad (4.2)$$

де  $K_{p_2}$  — кількість конфігураційних елементів об'єкта управління, які дає змогу реалізувати тренажер (пультове обладнання, інформаційна модель, зв'язок, засоби відображення тощо);

$K_{\text{необх}_2}$  — кількість реалізованих елементів реального об'єкта управління.

Якщо  $K_2 = 0$ , то конфігурація тренажера не відповідає вимогам забезпечення кваліфікаційної характеристики.

Якщо  $0 < K_2 < 1$ , то конфігурація тренажера дозволяє забезпечити відпрацювання завдань для набуття необхідних умінь і навичок тією чи іншою мірою.

3. Ступінь забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики  $K_3$ .

Цей фактор характеризує те, наскільки кількісно виконано вимоги щодо прищеплення навичок умінь і знань у тренажері:

$$K_3 = \frac{K_{p_3}}{K_{необх_3}}, \quad (4.3)$$

де  $K_{p_3}$  — кількість компетенцій, зазначених у кваліфікаційній характеристиці, які забезпечуються тренажером;

$K_{необх_3}$  — кількість усіх компетенцій, зазначених у кваліфікаційній характеристиці.

Під час оцінювання фактора  $K_3$  «Ступінь забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики» слід врахувати, що, чим вищий результат підсумкового оцінювання компетентності після закінчення навчання, тим вища ефективність тренажера.

Тоді маємо:

$K_3 = 1$  — тренажер повністю забезпечує рівень компетентності здобувача освіти;

$K_3 = 0$  — тренажер не забезпечує рівень компетентності здобувача освіти;

$0 < K_3 < 1$  — тренажер частково забезпечує рівень компетентності здобувача освіти.

4. Якість оцінювання діяльності оператора  $K_4$ .

Під час оцінювання фактору  $K_4$  мають враховувати положення регламентувальних документів:

— тренажер повинен забезпечувати можливість перевірки досягнення рівня підготовки судноводія;

— тренажер повинен мати встановлені й явно виражені критерії оцінювання для того, щоб забезпечити надійність та однаковість оцінки;

— тренажер повинен забезпечувати можливість здобувачеві освіти продемонструвати здатність виконувати завдання безпечно й ефективно;

— тренажер повинен задовольняти конкретним цілям оцінювання та навчання.

$$K_4 = \frac{K_{p_4}}{K_{необх_4}}, \quad (4.4)$$

де  $K_{p_4}$  — кількість критеріїв оцінювання дій здобувача освіти (час виконання операцій, алгоритм дій, правильність виконання операцій та ін.), які забезпечуються тренажером;

$K_{\text{необх}_4}$  — кількість усіх критеріїв оцінки дій оператора, зазначених у регламентувальних документах.

Отже, якщо тренажер володіє автоматичними або автоматизованими засобами оцінки діяльності здобувача освіти, що використовують чіткі критерії та методику оцінювання, то  $K_4 = 1$ . Якщо тренажер не дозволяє здійснити оцінку діяльності оператора, то  $K_4 = 0$ . Якщо тренажер не володіє автоматичними або автоматизованими засобами оцінювання діяльності здобувача освіти, але дає змогу здійснити оцінювання його знань, умінь, навичок, коли інструктор застосовує критерії та методику оцінювання, то  $0 < K_4 < 1$ .

Для оцінки ефективності тренажера необхідно об'єднати часткові чинники в узагальнений показник ефективності тренажера.

За показник ефективності визначимо функціонал  $Q$ , що залежить від часткових чинників  $K_i$ :

$$Q = Q(W_i \cdot K_i), i = 1 \dots M, \quad (4.5)$$

де  $M$  — кількість чинників показника адекватності кваліфікаційної характеристики;

$W_i$  — вагові коефіцієнти, що враховують важливість окремих чинників у загальній оцінці ефективності.

Вагові коефіцієнти приймають значення від одиниці (дуже важливий параметр) до нуля (параметр не враховується). Вибір значень  $W_i$  залежить від призначення системи. Таким чином, для визначення ефективності тренажера необхідно ранжувати параметри  $K_1 \dots K_n$ .

Слід зазначити, що наведені нами фактори показника адекватності кваліфікаційної характеристики тренажера не рівноважні. Кожен із них має певне вагове значення, що відрізняється одне від одного.

Таким чином, у разі, якщо показник  $Q$  (ефективність тренажера) дорівнює одиниці або потрапляє в інтервал значень 0,8—1,0, то тренажер можна віднести до найвищого класу відповідності, що означає таке:

1) тренажер відповідає цілям і завданням підготовки, на ньому можна забезпечити навчання та оцінку за всіма компетентностями, зазначеними у кваліфікаційній характеристиці фахівця;

2) тренажер має достатню і необхідну функціональну повноту, реалізує всі важливі функції обладнання автоматизованого робочого місця і забезпечує виконання всього необхідного переліку завдань навчання, тобто є повний набір баз даних, необхідних для виконання функціональних завдань і завдань, що формують вихідну інформацію.

У разі, якщо показник  $Q$  потрапляє в інтервал значень  $0-0,5$ , то тренажер можна віднести до нижчого класу відповідності, що означає таке:

1) тренажер не повною мірою відповідає цілям і завданням підготовки, з його допомогою неможливо повністю забезпечити необхідну кваліфікаційну характеристику;

2) тренажер не має достатньої та необхідної функціональної повноти, тобто не забезпечує виконання всього необхідного переліку завдань навчання, при цьому набір баз даних з необхідною для виконання функцій і завдань інформацією відсутній або не актуалізований.

Під час розгляду показника адекватності кваліфікаційної характеристики було визначено відповідний набір чинників. Очевидно, що кількісна сумарна оцінка цього показника адекватності також визначатиметься кількісними значеннями кожного з цих факторів.

Для визначення чисельного значення кожного фактора, для визначення ефективності тренажера, необхідно скласти словесні описи та визначити відповідні можливі діапазони кількісних значень оцінок факторів.

Сформуємо словесні описи факторів показника адекватності. Словесна характеристика чинника містить у собі лише загальні риси та опис. Словесні описи і можливі чисельні значення за кожним фактором наведені в *табл. 4.2*.

Проведемо дослідження розробленого тренажера за кожним із запропонованих факторів.

1. Повнота вирішуваних завдань.

Аналізуючи наведені результати, можна зробити такі висновки (*рис. 4.7*).

Для простих умов проведення тренажерної підготовки підійдуть обидва тренажери. Для проведення тренажу в умовах середньої складності і, особливо, в складних умовах перевага за повнотою вирішуваних завдань становить 7 % і 43 % відповідно. Настільки значної переваги вдалося досягти завдяки використанню інформаційних технологій і адекватніших математичних методів

урахування чинників, що впливають на формування інформаційного середовища навчання.

2. Конфігурація тренажера під час проведення дослідження не змінювалася. Тому вважатимемо, що параметр  $K_2$  однаковий для кожного з розглянутих тренажерів.

3. Ступінь забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики  $K_3$ .

Цей параметр відображає можливість підготовки судноводіїв відповідно до вимог кваліфікаційної характеристики до рівня його кваліфікації.

Т а б л и ц я 4.2

*Адекватність кваліфікаційної характеристики F*

Найменування критерію	Позначення фактора	Опис фактора	Чисельне значення фактора
Адекватність кваліфікаційній характеристиці F	$K_1$	Повнота вирішуваних завдань — тренажер дає змогу вирішувати всі завдання, тобто забезпечується повнота вирішуваних, або тренажер дає змогу вирішувати частину поставлених програмою завдань (розраховується, яку кількість завдань із потрібної кількості тренажер дає змогу вирішувати), або тренажер не дає змоги вирішувати жодного завдання з кваліфікаційної характеристики фахівця	0—1
	$K_2$	Відповідність конфігурації — тренажер дає змогу створити інтегроване інформаційне середовище для відпрацювання всіх важливих завдань, усіх умінь і навичок, які вимагаються кваліфікаційною характеристикою та програмою навчання, або конфігурація тренажера не відповідає вимогам забезпечення кваліфікаційної характеристики, або конфігурація тренажера дає змогу забезпечити опрацювання частини важливих завдань для набуття умінь і навичок, які вимагаються кваліфікаційною характеристикою та програмою навчання	0—1

Найменування критерію	Позначення фактора	Опис фактора	Чисельне значення фактора
Адекватність кваліфікаційній характеристикі $F$	$K_3$	Ступінь забезпечення вимог: — $K_3 = 1$ — тренажер повністю забезпечує рівень компетентності здобувача освіти; — $K_3 = 0$ — тренажер не забезпечує рівень компетентності здобувача освіти; — $0 < K_3 < 1$ — тренажер частково забезпечує рівень компетентності здобувача освіти	0—1
	$K_4$	Якість оцінювання діяльності оператора — тренажер має автоматичні або автоматизовані засоби оцінювання діяльності оператора, що використовують чіткі критерії та методику оцінювання, $K_4 = 1$ , або тренажер не дає змоги здійснити оцінювання діяльності оператора, $K_4 = 0$ , або тренажер не має автоматичних або автоматизованих засобів оцінювання діяльності оператора, але дає змогу здійснити оцінювання знань, умінь, навичок того, хто навчається, коли інструктор застосовує критерії та методику оцінювання, $0 < K_4 < 1$	0—1

*Джерело: розроблено авторами*

До фахівців з управління надводними суднами пред'являються 18 компетенцій, зазначених у вимогах кваліфікаційної характеристики. Наявний тренажер забезпечує підготовку за 6 компетенціями, зазначеними у кваліфікаційній характеристикі, відповідно  $K_3 = 0,33$ . Запропонований тренажер забезпечує підготовку за 11 компетенціями. Для цього випадку забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики  $K_3 = 0,61$ . Представимо отримані дані графічно (рис. 4.8).

4. Якість оцінки діяльності судноводія  $K_4$ . Людина-оператор посідає провідне місце в системі «людина — машина». Тому під час

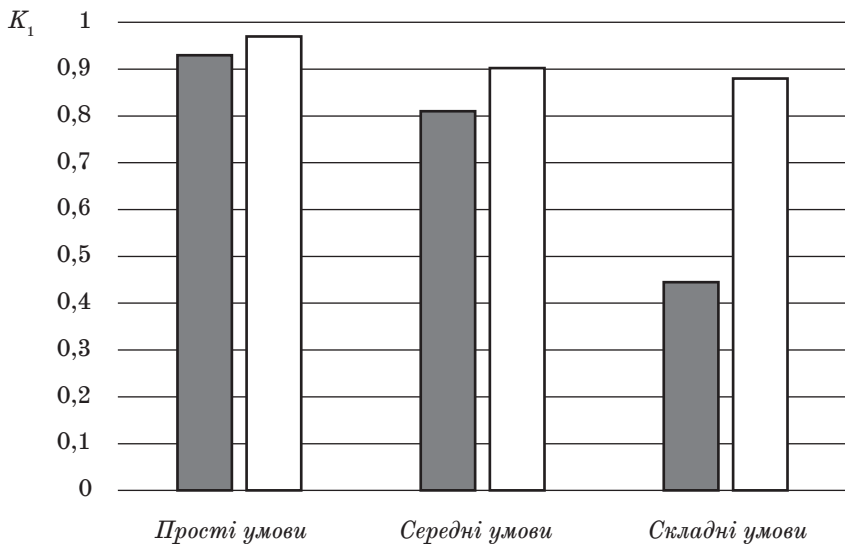


Рис. 4.7. Оцінка повноти вирішуваних завдань розробленого тренажера (Джерело: розроблено авторами)

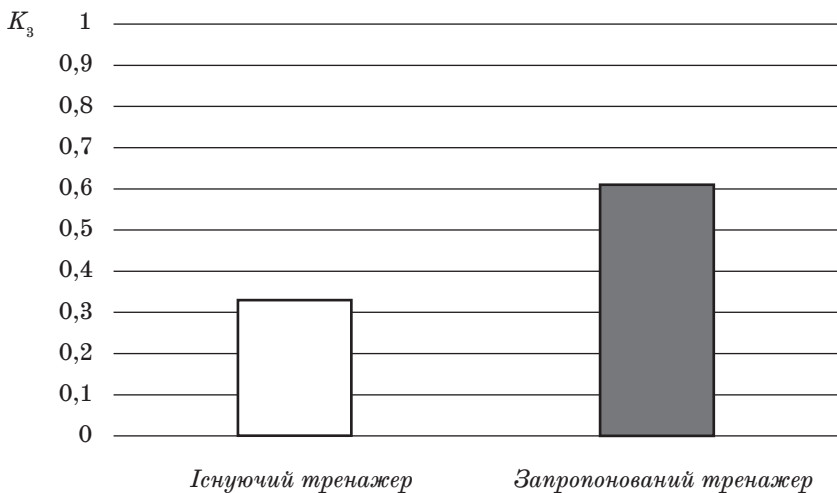


Рис. 4.8. Забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики в тренажерах (Джерело: розроблено авторами)

оцінювання ефективності тренажера однією з найважливіших складових є оцінка його діяльності.

Цей параметр відображає здатність тренажера забезпечувати оцінку дій людини за обраними критеріями для перевірки вмінь і навичок.

Судноводії оцінюються за 12 критеріями. Наявний тренажер не володіє автоматичними або автоматизованими засобами оцінювання діяльності, проте дає змогу інструкторові здійснити оцінювання вмінь і навичок за 4 критеріями. Відповідно  $K_4 = 0,33$ . Запропонований тренажер забезпечує оцінку дій автоматизованими засобами за 8 критеріями. Для даного випадку якість оцінювання діяльності оператора  $K_4 = 0,66$ . Представимо отримані дані графічно (рис. 4.9).

Отримані результати дослідження свідчать про ефективність розроблених методів і самого тренажера і можуть бути використані для побудови перспективних і створення нових тренажерів, дають змогу зробити висновок, що використання методів формування інформаційного середовища навчання та модифікованої моделі діяльності судноводія дає можливість формувати множину початкових

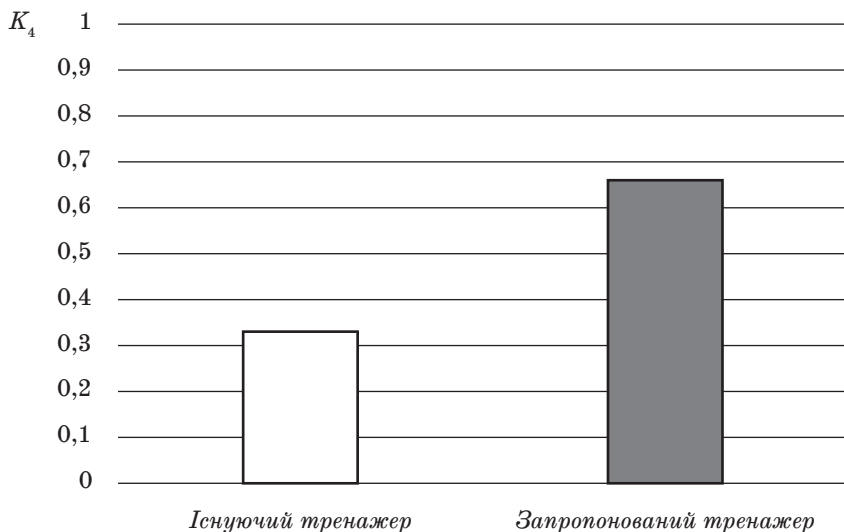


Рис. 4.9. Якість оцінювання діяльності оператора (Джерело: розроблено авторами)

умов відображення елементів обстановки відповідної інформаційної моделі залежно від значень вхідної інформації.

Застосування запропонованого у монографії підходу дає змогу розвивати у здобувачів освіти здатність креативно мислити в нестандартних ситуаціях, набувати вмінь і навичок дій з управління суднами та екіпажами на тлі різноманіття форм і методів моделювання елементів обстановки. Крім того, цей підхід дає змогу відійти від одноманітного багаторазового повторення шаблонних елементів діяльності, що робить процес навчання більш ефективним і цікавим.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У монографії досліджено актуальне наукове завдання з розробки методу синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок управління судном. В результаті дослідження отримано такі наукові та практичні результати.

1. Результати проведеного аналізу сучасного стану і тенденцій розвитку тренажерних комплексів свідчать про перспективи впровадження знання-орієнтованих систем для генерації можливих сценаріїв роботи тренажерів підготовки судноводіїв. Системи штучного інтелекту дають змогу ефективно оцінювати дії здобувачів залежно від їхнього рівня підготовки, темпу засвоєння матеріалу та специфіки виконуваних завдань. А можливості штучного інтелекту моделювати різні ситуації, у тому числі екстрені випадки і непередбачувані обставини, підвищують продуктивність системи і дають змогу підготувати екіпажі до дії в умовах стресу і невизначеності.

2. Сформульовано типові завдання розроблення методу синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок управління судном:

— аналіз моделі діяльності судноводія під час управління судном у різних умовах для оцінювання часу виконання окремих операцій і виниклих помилок у його роботі;

— розроблення методу формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія під час тренажерної підготовки;

— розроблення методу відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу;

— розроблення моделі формування інформаційного середовища навчання для тренажерного комплексу підготовки судноводіїв у тренажерно-імітаційному комплексі;

— оцінювання ефективності розроблених методів під час їх реалізації в тренажері.

3. Одержав подальший розвиток метод формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія

під час тренажерної підготовки, який, на відміну від відомих, відрізняється адаптивною процедурою вибору заданої кількості тестів із множини тестових методик з визначення рівня професійної підготовки здобувача освіти, що дозволяє мінімізувати час вибору.

4. Удосконалено метод відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу, який, на відміну від відомих, відрізняється застосуванням процедури нечіткого логічного виведення Ларсена у процесі ситуаційного формування інформаційної моделі під час підготовки судноводіїв, що дозволяє індивідуалізувати відображення елементів надводної обстановки відповідно до вирішуваних завдань і формувати вправи дозовано прогресуючої складності.

5. Запропоновано модель формування інформаційного середовища навчання для тренажерного комплексу підготовки судноводіїв у тренажерно-імітаційному комплексі, яка базується на використанні інтелектуальних методів управління інформаційним забезпеченням тренажерів і проведенням вхідного, проміжного й підсумкового контролю сформованості навичок судноводіїв з фіксацією логічних, операційних і часових помилок для внесення необхідних змін до програми підготовки.

Реалізація запропонованого у монографії підходу до синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв дає змогу формувати набір індивідуальних тестових завдань, інформаційне середовище тренажерного комплексу та оцінити діяльність судноводіїв. За допомогою методу формування набору індивідуальних тестових завдань здійснюється оцінювання рівня підготовки судноводія.

Метод формування інформаційного середовища навчання в тренажерному комплексі для підготовки судноводіїв дає змогу формувати індивідуальні вправи дозовано прогресуючої складності з відображенням елементів навколишнього середовища відповідно до вирішуваних завдань.

Для отримання інтегральної оцінки діяльності здобувачів освіти та рекомендації щодо їх подальшого навчання розроблено апарат формалізації правил отримання оцінок індивідуальної та групової діяльності. Отримані результати дають змогу скоротити час вирішення завдання управління судном на 9—32 %, а кількість помилок у його роботі — на 8—40 %. Коректний опис предметної області великою кількістю значущих чинників водночас дозволив підвищити обґрунтованість отриманих рішень.

## Основні категорії помилок (за документами ІМО)

Типи помилок	Види помилок
Помилки типу <b>Active</b>	<p><b>Категорія 1. Помилки управління судном</b>  <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неправильне управління судном в умовах поганої видимості</li> <li>• Неправильне використання навігаційних приладів</li> <li>• Неправильне виконання маневрів</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Невикористання радара в умовах туману</li> <li>– Неправильне використання даних GPS</li> <li>– Неадекватне управління судном при вході в порт</li> </ul> <p><b>Категорія 2. Помилки в області безпеки</b>  <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неправильне використання засобів безпеки</li> <li>• Неправильне використання процедур безпеки</li> <li>• Неправильне зберігання небезпечних вантажів</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Невикористання рятувальних жилетів під час тренування</li> <li>– Неправильне використання вогнегасників</li> <li>– Неадекватне зберігання вибухових речовин</li> </ul> <p><b>Категорія 3. Помилки в області технічного обслуговування</b>  <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неправильне виконання технічного обслуговування судна</li> <li>• Неправильне використання інструментів і обладнання</li> <li>• Неправильне зберігання запчастин і матеріалів</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Невикористання рекомендованих виробником запчастин</li> <li>– Неправильне виконання електроінструментів</li> <li>– Неадекватне зберігання палива та мастил</li> </ul>

Типи помилок	Види помилок
Помилки типу <b>Active</b>	<p><b>Категорія 4. Помилки в області зв'язку</b>  <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неправильне використання засобів зв'язку</li> <li>• Неправильне розуміння повідомлень</li> <li>• Неправильне передавання інформації</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Невикористання радіобладнання під час шторму</li> <li>– Неправильне тлумачення повідомлень про погоду</li> <li>– Неадекватне повідомлення про проблеми із судном</li> </ul> <p><b>Категорія 5. Помилки в області управління екіпажем</b>  <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неправильне управління екіпажем</li> <li>• Неправильний розподіл завдань</li> <li>• Неправильне виконання процедур екіпажу</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Неадекватне управління екіпажем під час кризи</li> <li>– Неправильний розподіл завдань серед членів екіпажу</li> <li>– Невикористання процедур екіпажу під час тренування</li> </ul>
Помилки типу <b>Latent</b>	<p><b>Категорія 1. Помилки в області організації й управління</b>  <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неправильне визначення цілей і завдань</li> <li>• Неправильний розподіл ресурсів</li> <li>• Неправильно управління ризиками</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Неадекватне визначення цілей і завдань для екіпажу</li> <li>– Неправильний розподіл ресурсів для виконання завдань</li> <li>– Невикористання системи управління ризиками на судні</li> </ul> <p><b>Категорія 2. Помилки в області навчання і підготовки</b>  <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неправильне навчання і підготовка екіпажу</li> <li>• Неправильне використання тренувальних програм</li> <li>• Неправильне оцінювання кваліфікації екіпажу</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Неадекватне навчання екіпажу щодо використання нової техніки</li> <li>– Неправильне використання тренувальних програм для екіпажу</li> <li>– Невикористання системи оцінювання кваліфікації екіпажу</li> </ul>

Типи помилок	Види помилок
<p>Помилки типу <b>Latent</b></p>	<p><b>Категорія 3. Помилки в області технічного обслуговування і ремонту</b>  <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неправильне виконання технічного обслуговування і ремонту</li> <li>• Неправильне використання запчастин і матеріалів</li> <li>• Неправильне зберігання технічної документації</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Неадекватне виконання технічного обслуговування судна</li> <li>– Неправильне використання запчастин і матеріалів для ремонту</li> <li>– Невикористання системи зберігання технічної документації</li> </ul> <p><b>Категорія 4. Помилки в області безпеки й охорони праці</b>  <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неправильне визначення небезпек і ризиків</li> <li>• Неправильне використання засобів безпеки</li> <li>• Неправильне виконання процедур безпеки</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Неадекватне визначення небезпек і ризиків на судні</li> <li>– Неправильне використання засобів безпеки, таких як рятувальні жилети</li> <li>– Невикористання процедур безпеки під час виконання робіт на висоті</li> </ul> <p><b>Категорія 5. Помилки в області комунікації та координації</b>  <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неправильне використання засобів комунікації</li> <li>• Неправильне розуміння повідомлень</li> <li>• Неправильне координування дій</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Неадекватне використання радіообладнання для комунікації</li> <li>– Неправильне розуміння повідомлень про погоду</li> <li>– Невикористання системи координування дій екіпажу</li> </ul>
<p>Помилки типу <b>Violations</b></p>	<p><b>Категорія 1. Порушення безпеки</b>  <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Порушення правил безпеки</li> <li>• Порушення процедур безпеки</li> <li>• Порушення вимог безпеки</li> </ul>

Типи помилок	Види помилок
Помилки типу <b>Violations</b>	<p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Невикористання рятувальних жилетів під час тренування</li> <li>– Порушення процедур безпеки під час виконання робіт на висоті</li> <li>– Неадекватне зберігання небезпечних вантажів</li> </ul> <p><b>Категорія 2. Порушення правил мореплавства</b></p> <p><i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Порушення правил мореплавства</li> <li>• Порушення вимог до судна</li> <li>• Порушення правил навігації</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Невикористання радару в умовах туману</li> <li>– Порушення вимог до судна під час входу в порт</li> <li>– Неадекватне використання карт і навігаційних приладів</li> </ul> <p><b>Категорія 3. Порушення правил охорони праці</b></p> <p><i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Порушення правил охорони праці</li> <li>• Порушення вимог до умов праці</li> <li>• Порушення правил використання обладнання</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Невикористання засобів індивідуального захисту під час роботи з небезпечними матеріалами</li> <li>– Порушення вимог до умов праці на судні</li> <li>– Неадекватне використання обладнання для підйому важких предметів</li> </ul> <p><b>Категорія 4. Порушення правил охорони навколишнього середовища</b></p> <p><i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Порушення правил охорони навколишнього середовища</li> <li>• Порушення вимог до скидання відходів</li> <li>• Порушення правил використання хімічних речовин</li> </ul> <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Неадекватне зберігання та скидання відходів на судні</li> <li>– Порушення вимог до використання хімічних речовин на судні</li> <li>– Невикористання системи очищення води на судні</li> </ul>

Типи помилок	Види помилок
Помилки типу <b>Violations</b>	<b>Категорія 5. Порушення правил документації та звітності</b> <i>Види помилок:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>• Порушення правил документації</li><li>• Порушення вимог до звітності</li><li>• Порушення правил зберігання документів</li></ul> <i>Приклади:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>– Неадекватне ведення судового журналу</li><li>– Порушення вимог до звітності про безпеку на судні</li><li>– Невикористання системи зберігання документів на судні</li></ul>

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Álvarez N. G., Adenso-Díaz B., Calzada-Infante L. (2021). Maritime traffic as a complex network: A systematic review. *Networks and Spatial Economics*. 21 (2). 387—417.
2. Yang D., Wu L., Wang S. et al. (2019). How big data enriches maritime research—a critical review of Automatic Identification System (AIS) data applications. *Transport Reviews*. 39 (6). 755—773.
3. Sardain A., Sardain E., Leung B. (2019). Global forecasts of shipping traffic and biological invasions to 2050. *Nature Sustainability*. 2 (4). 274—282.
4. Sherehiy B., Karwowski W., Layer J. K. (2007). A review of enterprise agility: Concepts, frameworks, and attributes. *International Journal of industrial ergonomics*. 37 (5). 445—460.
5. Martelli M., Viridis A., Alberto G. et al. (2022). An outlook on the future marine traffic management system for autonomous ships. *IEEE Access*. 9. 157316—157328.
6. Uyà Juncadella À. Vessel Traffic Services, towards e-Navigation: the role of Oceanic VTS in global maritime surveillance. *Tesi doctoral, UPC, Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques*. 2022. DOI 10.5821/dissertation-2117-370239.
7. Hebbbar A. A., Schröder-Hinrichs J. U., Yildiz S. (2024). Vessel Traffic Management in the Era of Maritime Autonomous Surface Ships and Digitalization: Experiences in European Waters. *Area-Based Management of Shipping: Canadian and Comparative Perspectives*. P. 185—205. Cham: Springer Nature Switzerland.
8. Li Z., Yao C., Zhu X. et al. (2022). A decision support model for ship navigation in Arctic waters based on dynamic risk assessment. *Ocean Engineering*. 244. 110427.
9. Yang X., Lin Z. Y., Zhang W. J. et al. (2024). Review of risk assessment for navigational safety and supported decisions in arctic waters. *Ocean & Coastal Management*. 247. 106931.
10. Wennink C. J. (1992). Collision and grounding risk analysis for ships navigating in confined waters. *The Journal of Navigation*. 45 (1). 80—90.
11. Jia S., Li C. L., Xu Z. (2019). Managing navigation channel traffic and anchorage area utilization of a container port. *Transportation Science*. 53 (3). 728—745.
12. Andersson P., Ivehammar P. (2016). Cost benefit analysis of dynamic route planning at sea. *Transportation Research Procedia*. 14. 193—202.
13. Xu H., Yin Z., Jia D. et al. (2011). The potential seasonal alternative of Asia–Europe container service via Northern sea route

- under the Arctic sea ice retreat. *Maritime Policy & Management*. 38 (5). 541—560.
14. Martelli M., Viridis A., Gotta A. et al. (2021). An outlook on the future marine traffic management system for autonomous ships. *IEEE Access*. 9. 157316—157328.
15. Danylenko O. B., Soroka O. M., Dukov D. F. et al. (2021). Application of information and communication technologies and simulators to train future specialists in navigation and ship handling. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering* (Vol. 1031, No. 1. P. 012117). IOP Publishing.
16. Bernardo A. (2017). Virtual reality and simulation in neurosurgical training. *World neurosurgery*. 106. 1015—1029.
17. Alonso F., Faus M., Riera J. V. et al. (2023). Effectiveness of driving simulators for drivers' training: a systematic review. *Applied Sciences*. 13 (9). 5266.
18. Baldauf M., Dalaklis D., Kataria A. (2016). Team training in safety and security via simulation: A practical dimension of maritime education and training. *INTED2016 Proceedings* (P. 8519—8529). IATED.
19. Costa N. A., Jakobsen J. J., Weber R. et al. (2018). Assessing a maritime service website prototype in a ship bridge simulator: navigators' experiences and perceptions of novel e-Navigation solutions. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 17 (4). 521—542.
20. Lisowski J. (2021). Computational intelligence in marine control engineering education. *Polish Maritime Research*. 28 (1). 163—172.
21. Vagale A., Osen O. L., Brandsæter A. et al. (2022, July). On the use of maritime training simulators with humans in the loop for understanding and evaluating algorithms for autonomous vessels. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2311, No. 1. P. 012026). IOP Publishing.
22. Сокол А. О. Метод формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінювання рівня підготовки судноводія у процесі тренажерної підготовки. *Судноводіння*. 2024. Випуск № 36. С. 171—180. URL: <https://navjournal-nuoma.learnmarine.com/project/vipusk-v36/> (<https://doi.org/10.31653/2306-5761.36.2024.171-180>)
23. Сокол А. О. Метод оцінювання результатів діяльності судноводіїв під час тренажерної підготовки. *Водний транспорт*. 2024. № 3 (41). С. 23—32. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/364> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41>)
24. Сокол А. О. Метод автоматизації процесу синтезу інформаційного середовища навчання в тренажерному комплексі підготовки судноводіїв. *Розвиток транспорту*. 2024. Випуск № 4 (23). С. 42—54. URL: <https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/article/view/387> (<https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.04>)
25. Сокол А. О. Людський елемент як складова ризику виникнення небажаної події на морському судні. *Водний транспорт*. 2023. № 2 (38). С. 49—54. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/281> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.3>)

26. Сокол А. О. Вплив тривалості рейсу на психоемоційний стан членів екіпажу судна. *Водний транспорт*. 2021. № 3 (34). С. 117—122. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/195> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34>)

27. Сокол А. О., Пролазов О. С. Контроль, оцінка та запобігання ризикам при роботі у замкненому просторі. *Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства*: тези доп. XI Всеукраїнської студентської наукової конференції, 18 листопада 2021 р., м. Херсон, 2021. С. 125—126.

28. Бойко С. О., Сокол А. О. Дослідження методів оцінювання результатів діяльності судноводіїв під час тренажерної підготовки: *Дні-провескї читання*. 2024: V міжнародна науково-практична конференція: тези доп., 5 грудня 2024 р., м. Київ, 2024. С. 179—183.

29. Сокол А. О., Воробйов Я. О. Використання інформаційного середовища задля безпеки і менеджменту судноплавства. *Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства*: тези доп. XIV Всеукраїнської студентської наукової конференції, 21 листопада 2024 р., м. Херсон, 2024. С. 34—41.

30. Рева О. М., Кириченко К. В., Маменко П. П. та ін. Пілотна оцінка ставлення курсантів-судноводіїв до недисциплінованості. *Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2023)*: тези доп. III Міжнародної науково-практичної конференції, 22 листопада 2023 р., м. Херсон, 2023. С. 71—75.

31. Darbra R. M., Casal J. (2004). Historical analysis of accidents in seaports. *Safety science*. 42 (2). 85—98.

32. Häkkinen J., Posti A. (2015). Port accidents involving hazardous substances based on FACTS database analysis. *Proc., Paper Presented at the Proc., 38th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response* (P. 372—384).

33. Marino M., Cavallaro L., Castro E. et al. (2023). *Analysis on a database of ship accidents in port areas*. Data in brief. 48. 109127.

34. Chen Q., Qi X., Pang S. et al. (2015, November). Analysis of Current Status and Causes of Maritime Accidents. *2015 International Conference on Economics, Management, Law and Education* (P. 279—283). Atlantis Press.

35. Akten N. (2006). Shipping accidents: a serious threat for marine environment. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*. 12 (3). 269—304.

36. Stingeru C., Rusu E., Gasparotti C. (2018). The Cause-Effect Method Used in Highlighting the Main Causes and Implications of Maritime Accidents in the Black Sea. ICTTE Belgrade, Serbia, *International Journal for Traffic and Transport Engineering*. 283—289.

37. Chauvin C., Lardjane S., Morel G. et al. (2013). Human and organisational factors in maritime accidents: Analysis of collisions at sea using the HFACS. *Accident Analysis & Prevention*. 59. 26—37.

38. van Manen S. E., Frandsen A. G. (2017). Ship collision with bridges, review of accidents. *Ship Collision Analysis* (P. 3—12). Routledge.

39. Danielsen B. E. (2022). The contribution of ship bridge design to maritime accidents. *Human Factors in Transportation*.
40. Macrae C. (2009). Human factors at sea: common patterns of error in groundings and collisions. *Maritime Policy & Management*. 36 (1). 21—38.
41. Yildiz S., Uğurlu Ö., Wang J., Loughney S. (2021). Application of the HFACS-PV approach for identification of human and organizational factors (HOFs) influencing marine accidents. *Reliability Engineering & System Safety*. 208. 107395.
42. Ma L., Ma X., Lan H. et al. (2022). A data-driven method for modeling human factors in maritime accidents by integrating DEMATEL and FCM based on HFACS: A case of ship collisions. *Ocean Engineering*. 266. 112699.
43. França J. E., Hollnagel E., dos Santos I. J. L., Haddad A. N. (2021). Analysing human factors and non-technical skills in offshore drilling operations using FRAM (functional resonance analysis method). *Cognition, Technology & Work*. 23 (3). 553—566.
44. Bhardwaj U., Teixeira A. P., Soares C. G. (2022). Casualty analysis methodology and taxonomy for FPSO accident analysis. *Reliability Engineering & System Safety*. 218. 108169.
45. Бігун С. В., Сіманенков А. Л., Іванов А. А. та ін. (2023). Analysis of the current state of ship monitoring systems and ways to their improving. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. Серія: Технічні науки. (47). 287—296.
46. Budashko V., Vlasov V., Zdrozis K., Shafiq B. Design of power plants, propulsion complexes and control systems for ships of the future. *Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика*. 85.
47. Schubert A. U., Damerius R., Rethfeldt C. et al. (2023, June). Concepts and System Requirements for Automatic Ship Operations. *OCEANS 2023-Limerick* (P. 1—8). IEEE.
48. Sibali A. (2024). The Important Role of Shipboard Maritime Correspondents for Officers. *Journal of Indonesian Scholars for Social Research*. 4 (2). 138—143.
49. Fulconis F., Lissillour R. (2021). Toward a behavioral approach of international shipping: a study of the inter-organisational dynamics of maritime safety. *Journal of Shipping and Trade*. 6 (1). 10.
50. Wan S., Yang X., Chen X. et al. (2022). Emerging marine pollution from container ship accidents: Risk characteristics, response strategies, and regulation advancements. *Journal of Cleaner Production*. 376. 134266.
51. Öztürk O. B., Kartal Ş. E., Aydın M. (2024). Investigating the influence of human errors in master-pilot information exchange on maritime accident risk during pilotage. *Ocean Engineering*. 305. 118051.
52. Demirci S. E., Canımoğlu R., Elçiçek H. (2023). Analysis of causal relations of marine accidents during ship navigation under pilotage: A DEMATEL approach. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M. *Journal of Engineering for the Maritime Environment*. 237 (2). 308—321.

53. Adhita I. G. M. S., Fuchi M., Konishi T., Fujimoto S. (2023). Ship navigation from a Safety-II perspective: A case study of training-ship operation in coastal area. *Reliability Engineering & System Safety*. 234. 109140.
54. Tryggv Mansson K. J. C. (2022). Beyond teamwork: joint activity during the navigation and manoeuvring of a ship in port waters (Doctoral dissertation, University of Tasmania).
55. af Geijerstam K., Svensson H. (2008). Ship collision risk—an identification and evaluation of important factors in collisions with offshore installations. LUTVDG/TVBB-5275--SE.
56. Duan M., Wang Y., Fan A. et al. (2023). Comprehensive analysis and evaluation of ship energy efficiency practices. *Ocean & Coastal Management*. 231. 106397.
57. Bichou K., Lai K. H., Lun Y. V., Cheng T. C. E. (2007). A quality management framework for liner shipping companies to implement the 24-hour advance vessel manifest rule. *Transportation Journal*. 46 (1). 5—21.
58. Zhang P., Tang L. (2021). Ship Management: Theory and Practice. Routledge.
59. Wagenaar W. A., Groeneweg J. (1987). Accidents at sea: Multiple causes and impossible consequences. *International Journal of man-machine studies*. 27 (5—6). 587—598.
60. Łozowicka D., Kaup M. (2015). Analysis of the cause and effect of passenger ship accidents in the Baltic Sea. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*.
61. Fan L., Wang M., Yin J. (2019). The impacts of risk level based on PSC inspection deficiencies on ship accident consequences. *Research in Transportation Business & Management*. 33. 100464.
62. Pike D. (2013). Disasters at Sea. A & C Black.
63. Soares C. G., Garbatov Y., Zayed A., Wang G. (2009). Influence of environmental factors on corrosion of ship structures in marine atmosphere. *Corrosion science*. 51 (9). 2014—2026.
64. Andersson K., Baldi F., Brynolf S. et al. (2016). *Shipping and the Environment* (P. 3—27). Springer Berlin Heidelberg.
65. Briggs J. N. (2004). Target detection by marine radar (Vol. 16). Iet.
66. Горбулін В. П. (2020). Щодо захисту морського узбережжя України. *Вісник Національної академії наук України*. (9). 30—40.
67. Canul-Macario C., Salles P., Hernández-Espriú A., Pacheco-Castro R. (2021). Numerical modelling of the saline interface in coastal karstic aquifers within a conceptual model uncertainty framework. *Hydrogeology Journal*. 29 (7). 2347—2362.
68. Kiefer M., Pulvermüller F. (2012). Conceptual representations in mind and brain. *Theoretical developments, current evidence and future directions. cortex*. 48 (7). 805—825.
69. Nakamura J., Ohsawa Y. (2009). A shift of mind—Introducing a concept creation model. *Information Sciences*. 179 (11). 1639—1646.

70. Ponomaryova V., Nosov P., Ben A. et al. (2024). Devising an approach for the automated restoration of shipmaster's navigational qualification parameters under risk conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*.

71. Rossi G. (2019). The barratry of the shipmaster in early modern law: polysemy and mos Italicus. *Tijdschrift voor Rechtsgeschiedenis/Revue d'histoire du droit. The Legal History Review*. 87 (1–2). 65–85.

72. Iordanoaia F. (2010). Master of the ship, manager and instructor. *Management & Marketing-Craiova*. (1s). 133–155.

73. Kijowski M. (2019). On the competences of the shipmaster of the Polish seagoing vessel in terms of the prevention of fatal accidents of seafarers on board and the actions taken in the case of death. *Studia Maritima*. 32 (1). 231–258.

74. Reason J. (2000). Human error: models and management. *Bmj*. 320 (7237). 768–770.

75. Reason J. (1990). Human error. Cambridge university press.

76. Armitage G. (2009). Human error theory: relevance to nurse management. *Journal of nursing management*. 17 (2). 193–202.

77. Reason J. (1995). Understanding adverse events: human factors. *BMJ Quality & Safety*. 4 (2). 80–89.

78. Graziano A., Teixeira A. P., Soares C. G. (2016). Classification of human errors in grounding and collision accidents using the TRACER taxonomy. *Safety science*. 86. 245–257.

79. Lee B. C., Duffy V. G. (2015). The effects of task interruption on human performance: A study of the systematic classification of human behavior and interruption frequency. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*. 25 (2). 137–152.

80. Stanesby N. (1997). Acceptable merchant navy deck officer education and training systems for Asia Pacific ship owners/managers (Doctoral dissertation, University of Tasmania).

81. Takimoto T., Hirono K., Rooks M., Furusho M. (2013). Human Resources and Crew Manning STCW, Maritime Education and Training (MET), Human Resources and Crew Manning, Maritime Policy, Logistics and Economic Matters-Marine Navigation and Safety of Sea Transportation-Weintrit & Neumann (Eds). *The Problem of the Human Resource Supply Chain on the Social Network at Maritime Education and Training*. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation: STCW, Maritime Education and Training (MET), Human Resources and Crew Manning, Maritime Policy, Logistics and Economic Matters, 95.

82. Tingmai T. (1998). The development of training and practice of navigation for advanced ships: application to merchant marine training centre programmes in Thailand.

83. Manuel M. E. (2005). Beyond rules, skills and knowledge: Maritime education and training for optimised behaviour.

84. Dewan M. H., Godina R. (2023). Effective training of seafarers on energy efficient operations of ships in the maritime industry. *Procedia Computer Science*. 217. 1688–1698.

85. Day S. M. (1923). Sea-Training of the Merchant Service Executive Officer. *Royal United Services Institution. Journal*. 68 (471). 405—433.
86. Bertram V., Plowman T. (2020). Digital training solutions in the maritime context: Options and costs. *Maritime Technology and Research*. 2 (2). 52—68.
87. Hamed-Ahmed M. H., Fraga-Lamas P., Fernández-Caramés T. M. (2024, September). Towards the Industrial Metaverse: A Game-Based VR Application for Fire Drill and Evacuation Training for Ships and Shipbuilding. *Proceedings of the 29th International ACM Conference on 3D Web Technology* (P. 1—6).
88. Shaoyang Q., Hongxiang R. (2018, August). Ship life-saving training system based on virtual reality technology. *2018 IEEE 4th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)* (P. 559—563).
89. Qiu S., Ren H., Wang D. et al. (2024). Research on an educational virtual training system for ship life-saving appliances. *Computer Applications in Engineering Education*. 32 (2). e22708.
90. Kobayashi H. (2005). Use of simulators in assessment, learning and teaching of mariners. *WMU Journal of maritime affairs*. 4. 57—75.
91. Tsoukalas V. D., Papachristos D. A., Tsoumas N. K., Mattheu E. C. (2008). Marine engineers' training: educational assessment for an engine room simulator. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 7. 429—448.
92. Nie Y., Luan X., Gan W. et al. (2020, October). Design of marine virtual simulation experiment platform based on Unity3D. *Global Oceans 2020: Singapore — US Gulf Coast* (P. 1—5). IEEE.
93. Chen J., Chen T. (2011, May). Research on standardization of marine simulator training and assessment. *2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks* (P. 111—114). IEEE.
94. Li T., Liu J., Chen T. (2024, July). Application Prospect of Cloud Model in the Development of New Marine Simulator. *2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Autonomous Robot Systems (AIARS)* (P. 806—809). IEEE.
95. Shen H., Zhang J., Zeng H., Feng J. (2015, December). Development of a virtual training system for marine engineers. *2015 4th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)* (Vol. 1. P. 28—32). IEEE.
96. Serrano-Guerrero J., Romero F. P., Olivas J. A. (2021). Fuzzy logic applied to opinion mining: a review. *Knowledge-Based Systems*. 222. 107018.
97. Zadeh L. A. (1988). Fuzzy logic. *Computer*. 21 (4). 83—93.
98. Hájek P. (2013). *Metamathematics of fuzzy logic* (Vol. 4). Springer Science & Business Media.
99. Wahl A. M. (2020). Expanding the concept of simulator fidelity: the use of technology and collaborative activities in training maritime officers. *Cognition, Technology & Work*. 22 (1). 209—222.

100. Nosov P., Popovych I., Zinchenko S. et al. (2020). The research on anticipation of vessel captains by the space of Kelly's graph. *Revista Inclusiones*. 7. 90—103.
101. Burgess C. (2007). Valid analytical methods and procedures: a best practice approach to method selection. *Royal Society of Chemistry*.
102. Larsen K. G., Mardare R. (2014). Complete proof systems for weighted modal logic. *Theoretical Computer Science*. 546. 164—175.
103. Bacci G., Bacci G., Larsen K. G., Mardare R. (2018). A complete quantitative deduction system for the bisimilarity distance on markov chains. *Logical Methods in Computer Science*. 14.
104. Oliveira I., Amazonas J., Andrade M. (2010). Evaluation of fuzzy computing as a technique to provide learning objects adaptability in an m-learning architecture. *EDULEARN10 Proceedings* (P. 6406—6415). IATED.
105. Le Deist F. D., Winterton J. (2005). What is competence? *Human resource development international*. 8(1). 27—46.
106. Brownell J. (2008). Leading on land and sea: Competencies and context. *International Journal of Hospitality Management*. 27 (2). 137—150.
107. Pidpala I. (2017). Legal requirements for the professional and qualification qualities of seafarers. *Journal of Education, Health and Sport*. 7 (11). 465—480.
108. Sailors M., Price L. R. (2010). Professional development that supports the teaching of cognitive reading strategy instruction. *The elementary school Journal*. 110 (3). 301—322.
109. Dewan M. H., Godina R., Chowdhury M. R. K. et al. (2023). Immersive and non-immersive simulators for the education and training in maritime domain — A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*. 11 (1). 147.
110. Bačnar D., Barić D., Ogrizović D. (2024). Exploring the Perceived Ease of Use of an Immersive VR Engine Room Simulator among Maritime Students: A Segmentation Approach. *Applied Sciences*. 14 (18). 8208.
111. Luchyk V., Koroliuk Y. (2019). Fuzzy Logic Modeling of Regional Economy Development Scenarios. *Global Imperatives for Business and Law Development: II International Scientific and Practical Conference*, October, 10—11, 2019, Kyiv/KNUTE. Kyiv: KNUTE. P. 380—388. DOI: <http://doi.org/10.31617/Lknute.2019-10-10.44>.
112. Hu Z., Koroliuk Y. (2020). A Hierarchical Fuzzy Model for Assessing Student's Competency. *Advances in Artificial Systems for Medicine and Education III* (P. 380—393). Springer International Publishing.
113. Sellberg C. (2017). Training to become a master mariner in a simulator-based environment: The instructors' contributions to professional learning.
114. Saastamoinen K., Rissanen A., Linnervuo R. (2019). Usage of simulators to boost marine corps learning. *Procedia Computer Science*. 159. 1011—1018.

115. Dimitrakiev D., Stankov V., Atanasova C. (2023). Simulator Training—Unique Powerful Instrument for Educating, Skills Creating, Mitigating Skills and Resilience Creating. *Strategies for Policy in Science & Education/Strategii na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*. 31.

116. Jensen S., Lützen M., Mikkelsen L. L. et al. (2018). Energy-efficient operational training in a ship bridge simulator. *Journal of Cleaner Production*. 171. 175—183.

117. Albayrak T., Ziarati R. (2010, June). Training: Onboard and simulation based familiarisation and skill enhancement to improve the performance of seagoing crew. *Human Performance At Sea (HPAS)-2010: Conference Proceedings* (P. 586).

118. Kraiger K., Salas E., Cannon-Bowers J. A. (1995). Measuring knowledge organization as a method for assessing learning during training. *Human factors*. 37 (4). 804—816.

119. Abosalem Y. (2016). Assessment techniques and students' higher-order thinking skills. *International Journal of Secondary Education*. 4 (1). 1—11.

120. Demirel E., Bayer D. (2016). A Study on the assessment of sea training as an integral part of maritime education and training. *The Online Journal of Quality in Higher Education*. 3 (3). 12.

121. Shapiro S. (1998). Logical consequence: Models and modality (P. 131—156). na.

122. Howarth S., Handley S., Polito V. (2022). Uncontrolled logic: intuitive sensitivity to logical structure in random responding. *Thinking & Reasoning*. 28 (1). 61—96.

123. Weintrit C. A., Frin F. (2016). International Standardization of Maritime Education, Training, Scientific Research and Technological Advances related to Development of e-Navigation Strategy in Order to Enhance the Cooperation for Maritime Safety and Security and Protection of Ocean Environment. *IAMU AGA*. 17. 8.

124. Zenil H. (2020). A review of methods for estimating algorithmic complexity: options, challenges, and new directions. *Entropy*. 22 (6). 612.

125. Drager K. (2015). Linguistic variation, identity construction and cognition (P. 244). Language Science Press.

126. Li Y., Chen L. (2016). Peer-and self-assessment: A case study to improve the students' learning ability. *Journal of Language Teaching and Research*. 7 (4). 780.

127. Siritwongs P. (2015). Developing students' learning ability by dint of self-directed learning. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 197. 2074—2079.

128. Gacula Jr M. C. (2013). Statistical methods in food and consumer research. Elsevier.

129. Tai Y. C., Speed T. P. (2005). Statistical analysis of. *DNA Microarrays*. 257.

130. Звіт з науково-дослідної роботи «Кваліметрія та діагностика негативного прояву людського чинника в процесі підготовки та професійної діяльності судноводіїв» ДР № 0123U104977, — відповідно до планів

наукової та науково-технічної діяльності Херсонської державної морської академії. Херсон, 2023.

131. Звіт з науково-дослідної роботи «Ідентифікація людської помилки судноводія під час прийняття рішень в процесі боротьби за живучість судна» ДР № 0124U004508, — відповідно до планів наукової та науково-технічної діяльності Херсонської державної морської академії. Херсон, 2024.

132. Livingston S. A., Carlson J., Bridgeman B. (2018). Test reliability-basic concepts. Research Memorandum No. RM-18—01. Princeton, NJ: Educational Testing Service, 8.

*Наукове видання*

**СОКОЛ Альона Олександрівна  
ГУСЄВ Віктор Миколайович  
КУЩЕНКО Юрій Олексійович  
ГУЗЬ Андрій Миколайович**

**ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ  
СУДНОПЛАВСТВА  
ЗАСОБАМИ ТРЕНАЖЕРНОЇ  
ПІДГОТОВКИ:  
МЕТОДИ СИНТЕЗУ  
ТА ОЦІНЮВАННЯ ДІЙ  
СУДНОВОДІВ**

*Монографія*

Завідувачка редакції *Т. М. Забанова*  
Технічний редактор *Д. М. Островеров*  
Дизайнер обкладинки *О. А. Кунтарас*  
Коректор *І. В. Шепельська*

Формат 60×84<sup>1/16</sup>. Ум. друк. арк. 8,37.  
Тираж 300 прим. Зам. № 471 (132).

Видавництво і друкарня «Астропринт»  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 1373 від 28.05.2003 р.  
65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21  
Телефон: (0482) 37-14-25, 33-07-17,  
(048) 7-855-855

*e-mail: astro\_print@ukr.net*  
*www.astroprint.ua*



