

МІНІСТЕРСТВО НАУКИ І ОСВІТИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

**Харченко Роман Юрійович**



УДК 629.5.048 + 681.58

**ГІБРИДНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕРЕЖІ  
ДЛЯ СУДНОВИХ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат дисертації на здобуття  
наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті "Одеська морська академія" Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: **Михайлов Сергій Анатолійович**  
д. т. н., професор, зав. кафедрою морської  
електроніки, Національний університет «Одеська  
Морська Академія».

Офіційні опоненти: **Вичужанін Володимир Вікторович**  
д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційних  
технологій, Одеський національний політехнічний  
університет;  
**Федорович Олег Євгенович**, д.т.н., професор,  
завідувач кафедри інформаційних управляючих  
систем, Національний аерокосмічний університет  
ім. М. Е. Жуковського «Харківський авіаційний  
інститут».

Захист відбудеться 22 листопада 2018 р. о 10-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті "Одеська морська академія" за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 1, зал засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету "Одеська морська академія" за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 2, та за електронною адресою: <http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>

Автореферат розісланий 20 жовтня 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
д. т. н., професор



В.В. Нікольський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Забезпечення підвищення ефективності експлуатації, соціальної безпеки та ергатичного управління судновими системами вентиляції і кондиціонування повітря є однією з найважливіших проблем безаварійного мореплавання. Рейсові випробування даних систем показали значне відхилення параметрів мікроклімату від нормованих на проміжних режимах і незадоволеність підвищеною або зниженою температурою повітря (до 50%), підвищеною вологістю або сухістю повітря (15-40%), недоліком свіжого повітря тощо. Причинами зазначених недоліків є технічна недосконалість експлуатованих систем і застосовуваний в даний час у вітчизняній і зарубіжній практиці проектування підхід щодо забезпечення "середнього рівня комфорту", який не враховує індивідуальних характеристик людини і виду її діяльності та характеризується неможливістю контролювати всі параметри повітряної суміші. Особливо гостро питання постає у зв'язку зі збільшенням психологічного «мозкового» навантаження на відповідальний персонал через стрімкий розвиток автоматизації суден і, відповідно, зменшення чисельності екіпажів з пропорційно зростаючим ступенем відповідальності. Дослідження показують що переважна більшість аварійних ситуацій і надзвичайних подій на суднах відбувається через перевтому екіпажу і втрату уваги, на що безпосередній вплив надає якість повітряного середовища навколо людини, не кажучи вже про загальновідомий вплив клімату на продуктивність праці та індивідуальні характеристики навколишнього середовища для особливих видів вантажу. Тому розробка методів інтелектуального забезпечення експлуатації систем мікроклімату суден, чому присвячена дана робота, є актуальним і перспективним науковим напрямком, що забезпечує зниження експлуатаційних витрат та дотримання вимог соціальної безпеки.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася відповідно до положень планів Морської доктрини України до 2035 року (постанова Верховної Ради України від 7 жовтня 2009 р. №1307), рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463/2008), а також в рамках планів наукових досліджень Національного університету «Одеська Морська Академія» по держбюджетним темам «Підвищення якості програмованих користувачем HBIC (FPGA)», ДР№ 0115U003578 (2012-2014 рр.); «Підвищення якості програмованих користувачем HBIC (FPGA) для систем захисту інформації» ДР№ 0115U003578 (2015-2018рр), в яких претендент виконав окремі розділи.

**Мета дослідження.** Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності експлуатації морських суден, зокрема ергатичних систем управління судновим мікрокліматом.

**Робоча гіпотеза** дослідження полягає в існуванні можливості створення комфортних умов мікроклімату атмосфери в приміщеннях судна за допомогою гібридних інтелектуальних мереж та методів управління судовими системами мікроклімату.

**Головна задача** дослідження полягає у створенні гібридних інтелектуальних мереж для забезпечення комфортних умов життєдіяльності та соціальної безпеки екіпажу судна та пасажирів.

Рішенню головної задачі передувало рішення допоміжних завдань:

- аналіз проблем експлуатації судових систем мікроклімату, визначення критеріїв та шляхів підвищення ефективності їх експлуатації;
- розробка математичних моделей для впровадження інтелектуальних методів управління системою комфортного мікроклімату шляхом застосування адаптивних і нейро-нечітких алгоритмів;
- розробка програмного забезпечення і гібридної інтелектуальної моделі з прогнозуючої мережею і системою підтримки прийняття рішень;

**Об'єктом дослідження** є процеси впливу на внутрішню атмосферу приміщень судна.

**Предметом дослідження** стала система судового мікроклімату.

**Методи дослідження.** У дисертаційному дослідженні були застосовані наступні методи:

- дедукції – при аналізі основних підходів вирішення проблем при експлуатації судових систем-клімат контролю та теорії термодинаміки – для опису фізичних процесів в системах клімат контролю;
- експертного оцінювання – для вибору теми дисертаційної роботи та теорії автоматичного управління для аналізу ефективності діючих традиційних систем регулювання;
- системного аналізу – для декомпозиції головної задачі дисертації на допоміжні, формування технології наукового дослідження математичних моделей;
- теорії ідентифікації та адаптивного управління – для аналізу ефективності адаптивних систем регулювання складних систем;
- графо-аналітичні – при вирішенні диференціальних рівнянь перехідних процесів тепломасообміну і формування повітряної суміші,
- теорії нечітких множин та нечіткої логіки – для моделювання знань і досвіду експертів;
- цифрового моделювання – для виконання порівняльного аналізу інтелектуальних систем управління.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у тому, що для підвищення соціальної ефективності експлуатації морських суден, необхідна динамічна підтримка нормативних параметрів комфортності атмосфери суднових приміщень досягається за допомогою гібридних інтелектуальних мереж, які функціонують за принципами об'єднання декількох методів представлення і обробки знань та комбінують традиційні закони обробки інформації й сучасні технології, які діють на основі апарату нейро-нечіткої логіки та експертних систем. Вони мають в своїй структурі базу знань та управляються за критеріями динамічної адаптації до змін з врахуванням експертних даних, що забезпечує значне зниження аварійності та експлуатаційних витрат, суттєво підвищує соціальну захищеність екіпажу та пасажирів та екологічну безпеку на морському судні.

У дисертаційній роботі вперше отримані наступні результати:

- способи інтелектуальної настройки параметрів повітряної суміші в приміщеннях судна залежно від його географічного положення, зокрема спосіб розрахунку з використанням альтернативного нечіткого підходу;

- адаптаційні математичні моделі, що описують перехідні процеси в судновій атмосфері з регуляторами різних типів, засновані на виборі налаштувань та відповідних параметрів мікроклімату таких, що запропоновані інтелектуальною експертною системою;

- автономне компактне програмне забезпечення для рішення завдань аналізу та моніторингу в межах єдиного комплексу суднової системи комфортного мікроклімату (ССКМ).

Одержали подальший розвиток методи теорії нечіткої логіки та нейронних мереж в системах моніторингу параметрів вузлів системи мікроклімату; методи створення бази правил нечітких регуляторів для їх адаптації в процесах зміни режимів роботи обладнання, а також методи визначення параметрів систем за рахунок їх комп'ютерної реалізації.

Вдосконалені методи настройки регуляторів за ідентифікацією показників експлуатаційних процесів, що дозволяє проводити стабілізацію контрольованих параметрів за менший у середньому на 30% час регулювання в порівнянні з традиційними.

**Практична цінність одержаних результатів** полягає у тому, що вони можуть бути застосовані на морських судах в процесі експлуатації систем мікроклімату, розробниками даних систем, а також при навчанні і підвищенні кваліфікації електромеханіків, судномеханіків, реф.механіків.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені у проектування і розробку адаптивної інтелектуальної системи автоматичного управління систем кондиціонування і вентиляції Ладизинської ТЕС та роботу з модернізації систем автоматичного

управління процесами повітрообробки в її приміщеннях (акти впровадження від 12.10.2012 р.), в проектування і розробку адаптивної інтелектуальної системи автоматичного управління систем кондиціонування і вентиляції із застосуванням регуляторів що працюють на базі контролерів з нечіткою логікою в проектно-монтажній компанії ТОВ «Енергетичні Інвестори» (акт впровадження від 14.02.2016 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі при викладанні дисциплін «Програмне забезпечення вбудованих комп'ютерних систем», «Контроль і діагностика суднових електронних і електротехнічних систем» та «Електронні судові системи» та в НДР НУ «ОМА» (акти впровадження від 12.04.2018 р. та 25.05.18).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота виконана дисертантом самостійно без співавторів: їм проведений інформаційний пошук і виконаний аналіз основних підходів рішення проблеми забезпечення якісного мікроклімату в приміщеннях суден, обґрунтоване методологічне забезпечення дисертаційного дослідження, виконане комп'ютерне моделювання, впроваджені результати роботи у виробничий процес. Автор самостійно виконав всі теоретичні і практичні дослідження які становлять основу дисертаційної роботи, розробив математичну модель перехідних процесів, методики, алгоритми та програмні модулі для проведення досліджень. Всі наукові результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто і опубліковані в роботах [12, 13, 29-34]. У спільних роботах дисертанту належить: [1] - комп'ютерні експерименти та алгоритми; [2] - розробка бази правил нечіткого регулятора; [3] - розробка моделі нечіткої адаптивної АСУ; [4-5] - проведення комп'ютерних експериментів; [6-7] - розробка моделі нечіткої системи; [8] - методологія дослідження, виконання розрахунків; [9] - розробка бази знань нечіткого регулятора; [10] - розробка моделі нечіткого компенсатора; [11] - синтез нечіткого регулятора; [14] - синтез нечіткої системи та її апробація; [15] - розробка нечіткої системи; [16] - розробка методу настройки адаптивного регулятора; [17] - виконання розрахунку параметрів регулятора; [18] - розробка структури нечіткої системи; [19] - дослідження методів фазифікації; [20] - синтез нечіткої експертної системи; [21] - розробка гібридної системи; [22] - розробка методу настройки нечіткого регулятора; [23] - аналіз методів адаптивного управління; [24] - синтез нейромережевої системи; [25] - аналіз структури системи; [26-27] - навчання нейромережевої системи; [28] - розробка структури нейро-нечіткої мережі; [35] - навчання нейронної мережі [36] - розробка структури нейронної мережі; [37] - розрахунки математичної моделі; [38] - розробка структури гібридної мережі; [39] – розробка комп'ютерної моделі гібридної мережі.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи докладалися на науково-практичних та науково-технічних конференціях:

Міжнародних – 15-й Юбилейный Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Харків, 2011-12р.), II МНТК «Компьютерные науки и технологии» (Білгород, Росія, 2011р.), МНПК «Сучасні інформаційні системи та технології» (Суми, 2012р.), МНПК «Прикладная математика, управление и информатика» (Білгород, Росія, 2012р.), XIX МНПК з автоматичного управління «Автоматика» (Київ, 2012р.), МНПК «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании» (Суми, 2012р.), XIII МНПК «Системы поддержки принятия решений. Теория и практика» (Київ, 2012р.), XX МНПК по автоматическому управлению (Миколаїв, 2013р.), МНПК «Современные информационные и электронные технологии» (Одеса, 2014р.). Всеукраїнських та регіональних – НМК «Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки» (Одеса, 2011-2016р.), НМК «Энергетика судна: эксплуатация и ремонт» (Одеса, 2011р.), VII Региональная конференция студентов и молодых ученых «Информатика, информационные системы и технологии» (Одеса, 2011р.), IX Всеукраинская НТК «Математическое моделирование и информационные технологии» (Одеса, 2011р.), XII Всеукраїнська НТК молодих учених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» (Одеса, 2012р.), «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (Херсон, 2012р.), «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» (Херсон, 2012р.), VII Всеукраїнська НПК студентів та молодих вчених «Проблеми і перспективи розвитку транспорту» (Одеса, 2018), V та VII НПК «Інформаційні управляючі системи та технології» (Одеса, 2016-18р.).

**Публікації.** За наслідками виконаних досліджень автором опубліковано 39 наукових робіт (з них 9 одноосібно), зокрема: у наукових виданнях, що входять в перелік МОН України — 16 наукових статей [2-17]; у зарубіжних наукових виданнях — 4 наукові статті [18-21]; у збірках матеріалів наукових конференцій — 18 доповідей [22– 39]; 1 монографія в німецькому видавництві LAP «LAMBERT» [1].

Низка публікацій входять в зарубіжні наукометричні бази: Scopus, Orcid, Ринц, Index Copernicus, Google Scholar, Inspec ideas та інші.

**Структура роботи.** Дисертація складається з введення, п'яти розділів, висновку, списку використаних літературних джерел (159 найменувань) і 5 додатків. Загальний об'єм роботи складає 255 сторінок і містить 109 рисунків і 14 таблиць, зокрема: 174 сторінок основного тексту, 17 сторінок списку використаних джерел, 43 сторінок додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** роботи проведене обґрунтування актуальності теми дисертації, визначено мету та завдання дослідження, показано наукову новизну і практичне значення роботи.

У **першому розділі** здійснено огляд основних напрямків дослідження проблем забезпечення ефективності експлуатації та ергатичного управління судновими системами вентиляції і кондиціонування повітря і обрано напрями дисертаційного дослідження. Були проаналізовані традиційні і сучасні методи експлуатації систем вентиляції і кондиціонування повітря суден, що дозволило обрати методи дослідження дисертаційної роботи.

Аналіз літератури по темі дисертаційної роботи показав, що основна увага приділена проблемі забезпечення безпеки судноводіння шляхом комплексного вирішення питань забезпечення комфортного мікроклімату у різних умовах плавання та вдосконалення методів експлуатації кліматичного обладнання.

В рішення цих проблем значний внесок зробили багато вітчизняних та іноземних вчених, таких як: В.А. Голіков, В. В. Вичужанін, Ю.О. Табунщиков, Olli Seppanen, Felix Van Eyken та інші, які показали, що актуальними є теоретичні та практичні дослідження з проблеми забезпечення якісних умов для діяльності людини та перевозимих вантажів на судах. Аналіз підходів для рішення цієї проблеми показав, що перспективним є використання інтелектуальних методів експлуатації систем мікроклімату із впровадженням альтернативних нетрадиційних засобів що враховують експертні дані. Дана тематика потребує подальших наукових досліджень.

У **другому розділі** методами системного підходу розроблено технологічну карту дисертаційного дослідження. Метою стало удосконалення якості, а відповідно і соціальної екологічної безпеки судноплавства, шляхом забезпечення належної експлуатації систем мікроклімату за рахунок оптимізації ергатичного управління даних систем засобами сучасних інтелектуальних технологій.

Прийнято гіпотезу про можливість створення оптимально-комфортних умов мікроклімату в приміщеннях судна за допомогою гібридних інтелектуальних методів управління і експлуатації судових засобів вентиляції та кондиціонування.

Головне завдання дослідження полягало в дослідженні і розробці гібридної інтелектуальної моделі, що дозволить забезпечити виконання комфортних умов життєдіяльності екіпажу та пасажирів морських суден за різних умов експлуатації морського судна.



Рішення головної задачі дисертації було отримано за допомогою її декомпозиції на окремі складові задачі, рішенням кожної із них став відповідний науковий результат:

- запропонована математична модель морехідного стану судна, яка враховує всі зміни зовнішніх впливів на переходах і використовує широкую систему санітарно-гігієнічних вимог до якості повітряної суміші;
- отримані методи створення бази правил нечітких регуляторів для адаптації типових регуляторів в процесах ергатичного управління обладнання системи мікроклімату;
- удосконалені методи настройки регуляторів по ідентифікації показників експлуатаційних процесів, створенні математичні моделі теплоенергетичних об'єктів системи, програмно реалізована система діагностики технічного стану обладнання;
- розроблено метод інтелектуальної настройки параметрів системи мікроклімату на базі гібридних мереж управління і інтелектуальний метод моніторингу кліматичних параметрів в приміщеннях судна, діючий на основі теорії нейро-нечіткої логіки та експертних систем.

Вже на початковому етапі комп'ютерне імітаційне моделювання та порівняльна апробація типових методів управління з експертними при впливі на систему зовнішніх і внутрішніх параметричних збурень, що проводилася в спеціалізованій програмі, показало переваги експертного підстроювання, окремі результати моделювання представлені на рис.1-2.

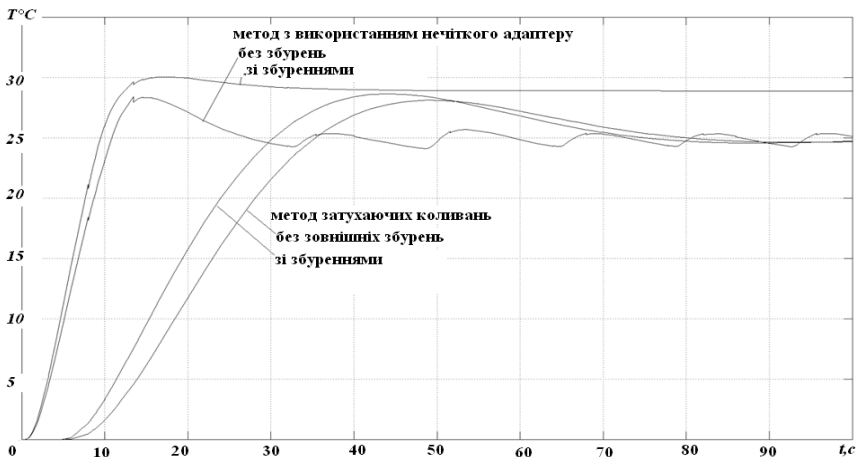


Рис. 1. Перехідні процеси управління параметрами суднового атмосферного середовища традиційним методом затухаючих коливань та експертного підстроювання при дії зовнішнього збурення та без нього

Як видно з перехідних характеристик, при експертній ручній настройці можна домогтися поліпшення роботи регуляторів, а класичні методи показують більший у 3 рази час регулювання в порівнянні з експертними (рис.1). Також поставлений експеримент показав, що настройка в умовах невизначеності – складний процес, який потребує удосконалення алгоритмів і великого обсягу експертних знань.

Таким чином показано, що ССКМ потребують адаптації та альтернативних інтелектуальних методів ергатичного управління та експлуатації.

Провівши аналіз адаптивних систем та змодельовав комп'ютерний експеримент з їх використанням, отримали перехідні процеси (рис. 2) що демонструють перевагу типового методу, а тому є необхідність у їх вдосконаленні новими засобами інтелектуального управління для визначення оптимальних показників.

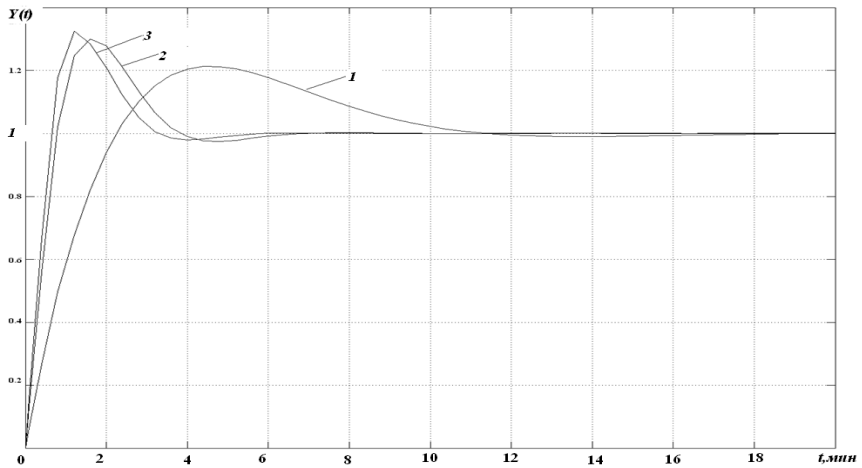


Рис. 2. Перехідні процеси в ССКМ за каналом завдання адаптивної системи: (а): 1- метод експертної настройки, 2 - метод Циглера-Ніколса, 3 - метод незатухаючих коливань

У **третьому розділі** визначено ряд математичних моделей об'єктів ССКМ, використання яких дозволяє провести в САПР MatLab достовірне імітаційне моделювання ергатичної системи експлуатації та управління ССКМ. Розроблені алгоритми та програмне забезпечення для дослідження роботи системи в процесі експлуатації, запропонована інтелектуальна система підтримки прийняття рішень (СППР) діюча на базі знань нечіткого контролера яка реалізує алгоритм Мамдані.

Результатом дослідження стала розробка нечіткої експертної системи яка реалізує алгоритм Такагі-Сугено що призначена для визначення оптимальних параметрів мікроклімату в ССКМ. На рис. 3 представлена структурна схема адаптивної автоматизованої системи регулювання параметрів мікроклімату на базі ПІ – регулятора з використанням елементів нечіткої логіки.

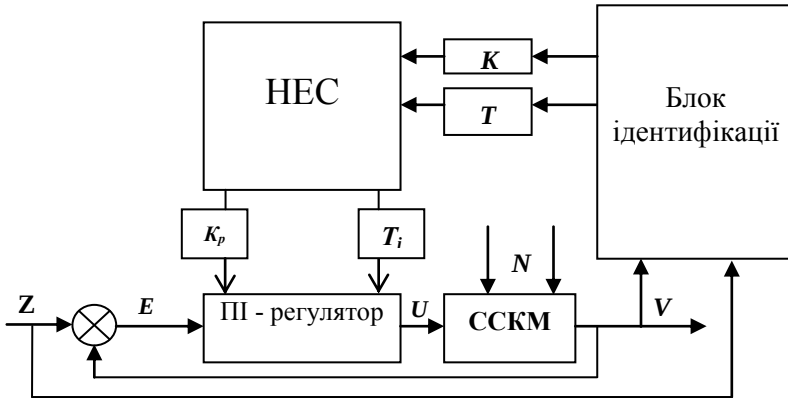


Рис. 3. Структура адаптивного нечіткого ПІ – регулятора з об'єктом управління.  $E$  – помилка,  $K$  – коефіцієнт підсилення,  $T$  – постійна часу об'єкта,  $\tau$  – запізнення,  $Z$  – завдання,  $V$  – вихідне значення,  $N$  – збурення,  $U$  – управляючий вплив,  $K_p$ ,  $T_i$  – настройки ПІ – регулятора

У завдання блоку ідентифікації об'єкта (БІО) входить спостереження і оцінка значень параметрів об'єкта регулювання. Нечітка експертна система (НЕС) отримуючи дані значення, самостійно проводить розрахунок нових настройок регулятора, за потреби ускладнюючи його алгоритм (П, ПІ, ПІД) і здійснює автопідстройку. Наявність НЕС дозволить стабілізувати процес регулювання без участі оператора і зупинки обладнання. Блок ідентифікації проводить пасивну ідентифікацію об'єкта, який функціонує в умовах невизначеності.

Для перевірки ефективності нечітких адаптивних і типових формульних методів налаштувань проведені імітаційні експерименти, результатом яких є перехідні процеси регулювання представлені на рис. 4.

Як видно, адаптивні настройки дозволяють зменшити час регулювання на 30 секунд в порівнянні з табличними, що сприяє економії енергоресурсів при роботі виконавчих механізмів та прискореній стабілізації параметрів суднового атмосферного середовища. Також перерегулювання при використанні нечіткого і формульного підходів становить відповідно  $g^n = 23\%$ ,  $g^f = 33,3\%$ .

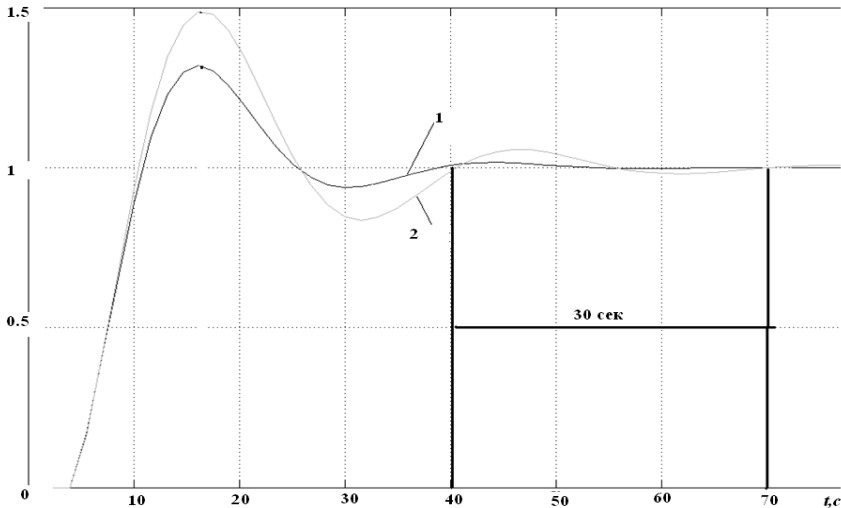


Рис. 4. Перехідні процеси: 1 – метод нечітких адаптивних налаштувань, 2 – формульних по каналу завдання (одиничний стрибок)

У четвертому розділі відбулася розробка гібридної інтелектуальної системи моніторингу та діагностики ССКМ, розроблена структурна схема програмного комплексу яка складається з універсальної програми і динамічно-підключаємої бібліотеки (ДПБ) рис. 5. Універсальна програма містить модулі відображення і редагування вихідних даних і результатів розрахунку, графічний модуль для побудови графіків, а також модулі експорту результатів в буфер обміну операційної системи. Розроблено систему підтримки прийняття рішень (СППР) для моніторингу ССКМ.



Рис. 5. Структура універсальної програми для дослідження ССКМ

Основною частиною універсальної програми для дослідження є масив вихідних експертних даних, модуль проведення досліджень і масив результатів розрахунку. Ці масиви є динамічними, кількість їх елементів залежить від конкретної математичної моделі і передаються в універсальну програму відповідними функціями ДПБ. Надалі з її підключенням у САПР MatLab (FLT) проведений синтез нечітких регуляторів для системи управління і розроблена база знань контролера на підставі експериментальних досліджень. В результаті створена нечітка структура інтелектуальної ідентифікації та адаптації, що враховує оцінку експертів, здатну до апроксимації параметрів для всіх можливих режимів навантаження, екстраполяції даних, а також до самонавчання на основі досвіду експертів і алгоритму зворотного поширення помилки. Імітаційний експеримент показав перевагу над системою з експертними настройками (рис.5). Це дозволило розвинути ідею гібридного застосування інтелектуальних систем.

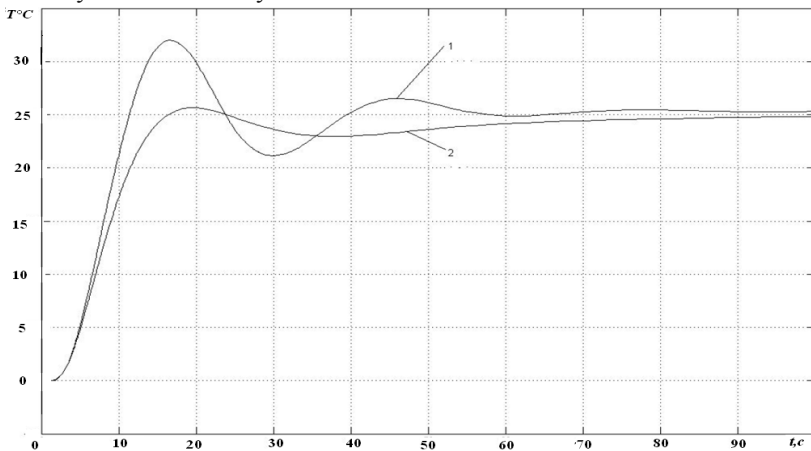


Рис. 5. Перехідні процеси в управлінні ССКМ: 1 – з експертними настройками, 2 – адаптивна з нечітким управлінням

У **п'ятому розділі** розроблено гібридну інтелектуальну мережу для експлуатації ССКМ. Використання апарату нейронних мереж, дозволило провести ідентифікацію ССКМ в динамічних режимах при маневруванні судна та впливі несприятливої навігаційної обстановки. Проведено навчання мережі на основі моделювання фазі-контролера. зазначимо, що дана задача розглядається в області інтелектуального ергатичного управління параметрами мікроклімату вперше.

Проведено порівняльний аналіз роботи нейронних паралельних систем з ПД - регулятором і нечітким регулятором при впливі глибокого

параметричного збурення по каналу завдання (рис. 6). Даний експеримент слід вважати перевіркою на стійкість ССКМ при мінімальному піковому навантаженні (аварійний режим роботи).

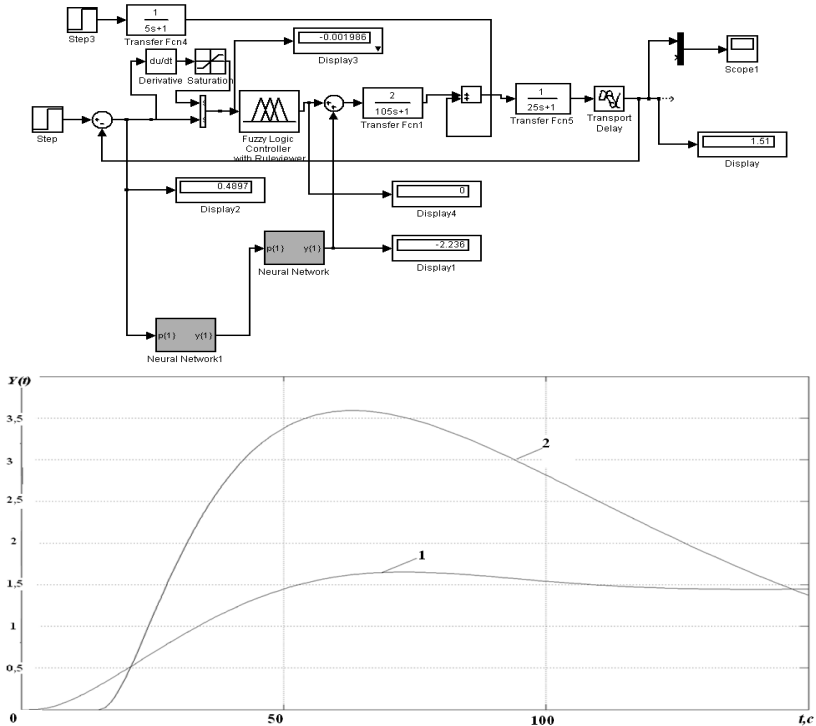


Рис. 6. Комп'ютерна модель спільної роботи фази – нейромережева комбінована система (НМК) і перехідні процеси по каналу завдання 1- процес:НМК з ПД і НР, 2 - процес НМК з ПД

Гібридна система може бути вдосконалена шляхом використання нових алгоритмів, а також розширення функціональних можливостей системи (регулювання повітрообміну, вологості, хіміко-біологічного складу повітря тощо). З аналізу перехідних процесів рис. 7 можна зробити висновок, що при номінальному режимі роботи, гібридний і нечіткий регулятори демонстрували однакові показники якості (час регулювання  $T_r = 45s$ ), однак при впливі параметричного збурення (3, 4) гібридна система володіє меншим часом регулювання ( $T_{p1} = 138s$ ), в порівнянні з нечіткою адаптивною ( $T_{p2} = 173s$ ), перерегулювання гібридної АСП  $G^{TP} = 28\%$ , нечіткої  $G^{TP} = 50\%$ , загасання гібридної  $\Psi^{TP} = 0,91$ , нечіткої  $\Psi^{TP} = 0,68$ , тобто гібридна система є більш раціональною. Розроблена програма

з ДПБ ще більш зменшує час регулювання (у два рази) (див. рис. 8).

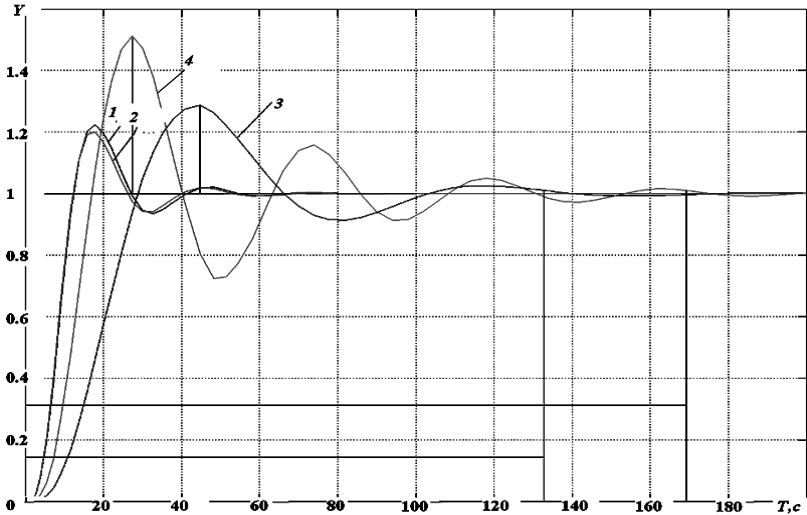


Рис. 7. Перехідні процеси систем: 1 (4) – нечіткої і 2 (3) – нейро-нечіткої при номінальному навантаженні, (при зміні навантаження)

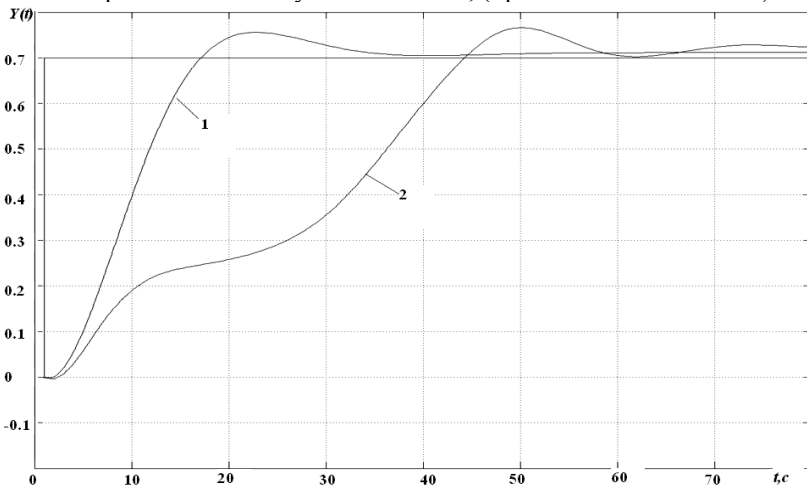


Рис. 8. Перехідні процеси: 1 – адаптивна нейро-нечітка з підключенням ДПБ, 2 – нейро-нечітка система управління без ДПБ

У додатках показана реалізація СППР ССКМ, результати роботи програми з ДПБ показані на рис. 9. Останнім етапом проведено генерацію написаного дисертантом програмного коду й програмування ППЗУ.

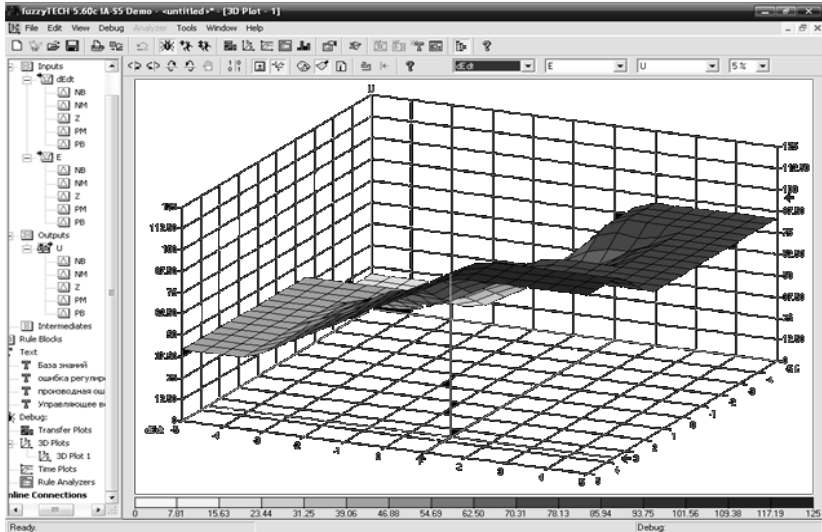


Рис. 9. Вікно перегляду тривимірної поверхні системи нечіткого виводу

## ВИСНОВКИ

Вирішення проблеми забезпечення комфортного мікроклімату в приміщеннях суден сприяє зменшенню кількості аварійних випадків і, як наслідок, зниженню шкоди людському життю, навколишньому середовищу, майну і виробничим процесам.

У дисертації одержано новий метод інтелектуальної експлуатації системи мікроклімату судна на базі гібридних мереж управління, який відрізняється поліпшеними показниками якості перехідних процесів в порівнянні з діючими. Також запропоновано метод моніторингу, що діє на основі апарату нейро-нечіткої логіки і дозволяє оптимально підтримувати співвідношення вологості і температури повітря, швидко знаходити несправності та знизити енергоспоживання виконавчих механізмів системи. Методи відрізняються врахуванням географічного положення судна та специфіки діяльності людини і верифікацією динамічних моделей зовнішніх та внутрішніх впливів за даними комп'ютерного експерименту. У результаті проведеного наукового дослідження:

- вперше розроблені способи інтелектуальної настройки параметрів повітряної суміші в приміщеннях судна залежно від його географічного положення, зокрема з використанням альтернативного нечіткого підходу;
- вперше розроблені адаптаційні математичні моделі, що описують перехідні процеси в судновій атмосфері з регуляторами різних типів,



засновані на виборі налаштувань та відповідних параметрів мікроклімату таких, що запропоновані інтелектуальною експертною системою.

– вперше запропоноване автономне компактне програмне забезпечення, для рішення завдань аналізу в межах єдиного комплексу і можливістю реалізації автономних режимів роботи окремих модулів;

– одержали подальший розвиток методи теорії нечіткої логіки та нейронних мереж в системах моніторингу параметрів вузлів системи мікроклімату; методи створення бази правил нечітких регуляторів для їх адаптації в процесах зміни режимів роботи, методи визначення параметрів повітряної суміші за рахунок їх комп'ютерної реалізації;

– вдосконалені методи роботи регуляторів за ідентифікацією показників експлуатаційних процесів, що дозволило проводити стабілізацію контрольованих параметрів за менший час регулювання в порівнянні з традиційними. Запропонована система діагностики технічного стану обладнання, що відрізняється функцією врахування експертного досвіду і можливістю прогнозування аварійних ситуацій.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені Ладижинською ТЕС у виробничій процесі і модернізацію систем вентиляції, кондиціонування та повітрообробки, проектно-монтажною компанією ТОВ «Енергетичні Інвестори» в проектування систем кондиціонування, а також в НДР і програми навчальних дисциплін кафедри морської електроніки НУ «ОМА», що підтверджується відповідними актами.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Монографії:*

1. Михайлов С. А. Гибридные интеллектуальные сети/ С. А. Михайлов, Р. Ю. Харченко // Монография, ISBN: 978-620-2-07416-2, издательство LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2017, 225 с.

### *Наукові фахові видання затверджені МОН України:*

2. Михайленко В. С. Сравнительный анализ робастной и нечеткой АСР действующих в условиях неопределенности/ В.С. Михайленко, Р.Ю.Харченко // Сборник научных трудов КНТУ. Вып. 22 (часть 2). – 2011. – С. 198-206.

3. Михайленко В. С. Использование нечеткого алгоритма Такаги – Сугено в адаптивных системах управления сложными объектами/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Научно-теоретический журнал Искусственный интеллект. – 2011. – №2. – С. 53-59.

4. Михайленко В. С. Влияние методов фаззификации и дефаззификации на качество переходных процессов в системах нечеткого

управления/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Электротехнические и компьютерные системы.– 2011. – № 4 (80). – С. 199-204.

5. Михайленко В. С. Сравнительный анализ теории принятия решений в условиях неопределенности и нечеткой логики на примере настройки ПИ – регулятора/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // АСУ и приборы автоматики. – 2011. – № 154. ХНУРЭ. – С. 76-83.

6. Михайленко В. С. Застосування гібридних мереж в адаптивних системах управління теплоенергетичних об'єктів/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Наукові праці ВНТУ.– 2012. – № 1.– С.1-9.

7. Михайленко В. С. Адаптивная настройка нечеткого ПИ – регулятора по идентификации переходного процесса/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Труды Одесского политехнического университета. – 2012. – № 1 (38). – С. 152-156.

8. Михайленко В. С. Синтез адаптивного нечеткого регулятора с прогнозирующей нейро-нечеткой сетью/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Вісник СумДУ. Серія “Технічні науки”, №3, 2012. – С. 30-37.

9. Михайленко В. С. Анализ традиционных методов адаптации систем автоматического управления и их усовершенствование с использованием нейронных сетей/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Радиоэлектронные и компьютерные системы № 4(56), 2012. – С. 50-56.

10. Харченко Р. Ю. Анализ адаптивных методов настройки нечетких и ПИ – регуляторов в сложных объектах управления/ Р. Ю. Харченко, В. С. Михайленко // Научные труды ХПИ.– 2012. – №37.– С. 78-89.

11. Михайлов С. А. Гибридные интеллектуальные сети для оптимизации режимов эксплуатации судовых систем комфортного микроклимата/ С. А. Михайлов, Р. Ю. Харченко // Судовые энергетические установки: Науково-технічний збірник. Вип. 36.–Одеса: НУ «ОМА», 2016. С. 24-32.

12. Харченко Р. Ю. Методы адаптивного регулирования в системе климатического контроля судна/ Р. Ю. Харченко // Автоматизація судових технічних засобів, Науково-технічний збірник ОНМА. Вип. 17, 2011. С. 95-106.

13. Харченко Р. Ю. Сравнительный анализ методов активной адаптации ПИ-регуляторов и нечетких регуляторов для систем кондиционирования и вентиляции (СКВ) морских судов/ Р. Ю. Харченко // Науковий вісник ХДМА. Науковий журнал. Херсонська державна морська академія. №2 (7) 2012 г. С. 276-286.

14. Михайленко В.С. Определение параметров математических моделей энергоблоков ТЭС на основе аппарата гибридных сетей. Михайленко В.С., Харченко Р.Ю. // Информатика и математические методы в моделировании Т. 2, № 3, 2012. – С. 286-292.

15. Михайленко В. С. Синтез интеллектуальной системы автоматического управления процессом горения топлива в энергоблоках тепловых электростанций/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Промышленная теплотехника. – 2012. – № 5. – С. 45-52.

16. Михайленко В. С. Синтез нейро-мережевої системи автоматичного регулювання рівня води в барабані котла енергоблоку ТЕС/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Наукові вісти НТУУ «КПІ», № 5, 2012. – С. 45-51.

17. Михайленко В. С. Решение задач идентификации и управления температурным контуром системы охлаждения судового дизеля/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Науковий вісник ХДМА. Науковий журнал. Херсонська державна морська академія. №2 (17) 2017г. С. 69-77.

***Зарубіжні наукові видання:***

18. V. S. Mikhailenko Analysis of traditional and neuro-fuzzy adaptive system of controlling the primary steam temperature in the direct flow steam generators in TPS/ V. S. Mikhailenko, R. Yu. Kharchenko // Automatic Control and Computer Sciences, 2014, Riga Vol. 48, No. 6, pp. 334–344. (Scopus).

19. Михайленко В. С. Исследование гибридной сети при идентификации объекта управления в системах поддержки принятия решений/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Вторая Международная НТК «Компьютерные науки и технологии» КНИТ-2011. 3-5 октября 2011 г. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Белгород, Росія. С. 268-272.

20. Михайленко В. С. Анализ научных подходов в теории нейросетевых систем управления сложными объектами/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Сборник трудов международной молодежной конференции «Прикладная математика, управление и информатика» Белгород (Росія). – 2012. – Том 2. – С. – 481-485.

21. Михайленко В. С. Анализ метода оценки настраивающей модели объекта в процессе адаптации САУ/ Михайленко В. С., Харченко Р. Ю. // Научный журнал: Сборник трудов SWorld. Вып. 4, Т.14, 2012 – С. 10-13.

***Міжнародні, всеукраїнські і регіональні конференції:***

22. Михайленко В. С. Сравнительный анализ методов анализа иерархий и нечеткой логики в системе поддержки принятия решений/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Материалы 15-й Международной конференции «Информационные интеллектуальные системы». – 2011. – Харків. – С. 297-298.

23. Михайленко В. С. Методы дефаззификации в алгоритмах нечеткого вывода/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Материалы 8-й региональной конференции молодых ученых «Информатика, информационные системы и технологии». –2011. –Одеса. – ОГУ. - С. 7-8.

24. Михайленко В. С. Сравнительный анализ теорий принятия решений в условиях неопределенности и нечеткой логики на примере настройки ПИ-регулятора/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник «АСУ и приборы автоматизации», 2011, Харьков, выпуск 154. С. 76-83.

25. Михайленко В. С. Синтез нейросетевой СППР нагрузки между энергоблоками СЭУ/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Материалы 8-й дистанционной международной НПК «Системы поддержки принятия решений. Теория и практика. СППР 2012» (Київ). – С. 46-49.

26. Михайленко В. С. Нейро-нечеткие технологии в системах поддержки принятия решений/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Материалы международной НПК интернет конференции «Advanced Information Systems and Technologies, AIST 2012» (Суми). – С. 144-146.

27. Михайленко В. С. Адаптивная настройка нечеткого ПИ-регулятора по идентификации переходного процесса/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Материалы 19-й Международной конференции по автоматическому управлению «Автоматика-2012». (Київ), Том 1. – С. 117.

28. Михайленко В. С. Использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений в автоматизации процессов управления судном/ Михайленко В. С., Харченко Р. Ю. // Третя Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT-2011» 23 – 25 травня 2011 р. Херсон. С. 59 1-й том.

29. Харченко Р. Ю. Анализ традиционных и новых методов вычислений в системах поддержки принятия решений/ Харченко Р. Ю. // Материалы НТК «Энергетика судна: эксплуатация и ремонт», 05.04.2011 – 07.04.2011. – Одеса: ОНМА, 2011, С. 308-310.

30. Харченко Р. Ю. Адаптивное регулирование в системах климатического контроля/ Харченко Р. Ю. // Десятая всеукраинская НТК «Математическое моделирование и информационные технологии» (ММИТ-2011), Одеса, ОДАХ. 23-25.10. С. 81-82.

31. Харченко Р. Ю. Сравнительный анализ традиционных и нечетких методов регулирования в системах кондиционирования воздуха (СКВ)/ Харченко Р. Ю. // XII Всеукраїнська НТК молодих учених, аспірантів та студентів “Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій” 11-12 квітня 2012 р. Одеса, ОДАХ. С.38-40.

32. Харченко Р. Ю. Влияние методов фаззификации и дефаззификации на качество переходных процессов в системах нечеткого управления/ Харченко Р. Ю. // 16-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» ХНУРЭ 17 – 19.04.12г. С. 33.

33. Харченко Р. Ю. Компьютерное моделирование системы кондиционирования и вентиляции судна с разными типами регуляторов/

Харченко Р. Ю. // Матеріали НМК. «Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки». – Одеса: ОНМА, 14.12 – 15.12.12. С. –36.

34. Харченко Р. Ю. Идентификация объектов в системах адаптивного управления с помощью нейро-нечетких сетей/ Харченко Р. Ю. // Матеріали НМК «Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки». – Одеса: НУ «ОМА», 2016. С. 97-100.

35. Михайленко В. С. Постановка задачи синтеза интеллектуальной системы адаптивного управления/ Михайленко В. С., Харченко Р. Ю. // Матеріали XX международной конференции по автоматическому управлению. НУК ім. Адмірала Макарова. Миколаїв. 2013р. С. 228-230.

36. Михайлов С. А. Применение гибридных интеллектуальных сетей в судовых системах климат-контроля/ Михайлов С. А., Харченко Р. Ю. // конференция «СИЭТ-2014» МНПК «Современные информационные и электронные технологии», – Одеса: 2014.– С. 13.

37. Михайлов С. А. Гибридные интеллектуальные сети в судовых системах комфортного микроклимата/ Михайлов С. А., Харченко Р. Ю. // Материалы V науч.практ. конф. «Інформаційні управляючі системи та технології» – Одеса: ОНМУ, 2016. С. 207-210.

38. Харченко Р. Ю. Впровадження гібридних інтелектуальних технологій при експлуатації суднових електронних систем/ Харченко Р.Ю., Шатілов Д.С., Кочетков О.В. // VII Всеукраїнська НПК студентів та молодих вчених «Проблеми і перспективи розвитку транспорту» – Одеса: ОНМУ, 2018. С. 85-87.

39. Михайлов С. А. Гібридна інтелектуальна система комфортного мікроклімату судна/ Михайлов С. А., Харченко Р. Ю. // Материалы VII НПК «Інформаційні управляючі системи та технології» – Одеса: ОНМУ, 2018. С. 182-185.

## АНОТАЦІЯ

**Харченко Р.Ю.** Гібридні інтелектуальні мережі для суднових систем мікроклімату. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Національний Університет "Одеська морська академія", Одеса, 2018 р.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-прикладної задачі – підвищення ефективності експлуатації суднових систем комфортного мікроклімату. У роботі розглянуто теоретичні і практичні основи підвищення ефективності експлуатації, управління та забезпечення безаварійної роботи систем мікроклімату на основі інтелектуальних технологій, що забезпечує зниження експлуатаційних

витрат, а також поліпшення параметрів мікроклімату в приміщеннях судна разом з дотриманням вимог соціальної безпеки.

В роботі проведено аналіз напрямків вирішення проблеми забезпечення приміщень суден комфортними умовами мікроклімату разом з покращенням техніко-економічних показників. Було виявлено, що перспективним є впровадження сучасних інтелектуальних систем експлуатації кліматичного обладнання та розробка методів моніторингу і діагностики його роботи. Обґрунтовано напрями дослідження які присвячені проблемі вдосконалення програмного забезпечення та впровадженню сучасних інтелектуальних гібридних мереж.

В основній частині дисертації розглянуто теоретичні основи роботи кліматичних систем судна, отримані математичні моделі та алгоритми, що враховують динаміку при зміні параметрів повітряної суміші та інших впливів. Особливості експлуатації описані математичними моделями з різними методами управління і ступенем врахування впливів, які у свою чергу мають різний рівень якості та адекватності результату.

Відбулася програмна реалізація системи з врахуванням збурюючих факторів із застосуванням паралельної роботи декількох регуляторів. Розроблено алгоритм роботи та модуль динамічно-підключаємої бібліотеки, приведені необхідні аналітичні вирази. На базі складених алгоритмів розроблений модуль програми, що дозволяє розрахувати параметри і провести імітаційне моделювання. Для моделювання використовувалися експертні експлуатаційні дані реальних суден, одержані в реальних умовах експлуатації.

У заключному розділі роботи розглянуто альтернативний метод експлуатації систем мікроклімату із застосуванням інтелектуальних систем в єдиному комплексі. Отримано аналітичні вирази для побудови гібридної інтелектуальної мережі. За допомогою запропонованого методу проведено розрахунок параметрів системи на прикладі окремих вузлів, значення яких збігаються зі стандартизованими для задовільної роботи даних систем. Розглянуто вплив збурюючих факторів, отримані формульні вирази для розрахунку характеристик. Представлені у табличному вигляді бази знань для синтезу відповідних регуляторів. Окрім табличних залежностей наведені графічні криві що відображають залежність параметрів від моделі, які отримані за допомогою комп'ютерної програми.

Розроблена система придатна для експлуатації в автоматичному або супервізорному режимі та дозволяє формувати завдання локальним вузлам, виводячи експлуатацію систем мікроклімату на новий рівень комфорту. Також розроблено систему діагностики технічного стану обладнання, яка відрізняється функцією врахування експертного досвіду.

**Ключові слова:** Гібридні інтелектуальні мережі, нечіткі контролери, нейронні мережі, системи підтримки прийняття рішень, судові системи комфортного мікроклімату, фазифікація, база знань.

## АННОТАЦІЯ

**Харченко Р.Ю.** Гибридные интеллектуальные сети для судовых систем микроклимата. - Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.22.20 - эксплуатация и ремонт средств транспорта. Национальный Университет "Одесская морская академия", Одесса, 2018 г.

Диссертация посвящена решению важной научно-прикладной задачи - повышению эффективности эксплуатации судовых систем комфортного микроклимата. В работе рассмотрены теоретические и практические основы повышения эффективности эксплуатации, управления и обеспечения безаварийной работы систем микроклимата на основе интеллектуальных технологий, что обеспечивает снижение эксплуатационных расходов и улучшение параметров микроклимата в помещениях судна с соблюдением требований социальной безопасности.

В работе проведен анализ направлений решения проблемы обеспечения помещений судов комфортными условиями микроклимата вместе с улучшением технико-экономических показателей. Было доказано, что перспективным является внедрение современных интеллектуальных систем эксплуатации климатического оборудования и разработка методов мониторинга и диагностики его работы. Обоснованы направления исследования, посвященные проблеме совершенствования программного обеспечения и внедрению в эксплуатацию систем микроклимата современных интеллектуальных гибридных сетей.

В основной части диссертации рассмотрены теоретические основы работы климатических систем судна, получены математические модели и алгоритмы, учитывающие динамику при изменении параметров воздушной смеси и других воздействий. Особенности эксплуатации описаны математическими моделями с различными методами управления и степенью учета воздействий, которые в свою очередь имеют разный уровень качества и адекватности результата.

Проведена программная реализация системы с учетом возмущающих факторов и применением параллельной работы нескольких регуляторов. Разработан алгоритм работы и модуль динамически подключаемой библиотеки, приведены необходимые аналитические выражения. На базе составленных алгоритмов разработан модуль программы, позволяющей рассчитать параметры и провести

имитационное моделирование. Для моделирования использовались экспертные эксплуатационные данные реальных судов, полученные в реальных условиях эксплуатации.

В заключительном разделе работы рассмотрены альтернативный метод эксплуатации систем микроклимата с применением интеллектуальных систем в едином комплексе. Получены аналитические выражения для построения гибридной интеллектуальной сети. С помощью предложенного метода проведен расчет параметров системы на примере отдельных узлов, значения которых совпадают со стандартизированными для удовлетворительной работы данных систем. Рассмотрено влияние возмущающих факторов, полученные формульные выражения для расчета характеристик. Представлены в табличном виде базы знаний для синтеза соответствующих регуляторов. Кроме табличных зависимостей приведены графические кривые отражающие зависимость параметров от модели, получены с помощью компьютерной программы. Разработанная система пригодна для эксплуатации в автоматическом или supervisory режиме и позволяет формировать задачи локальным узлам, выводя эксплуатацию систем микроклимата на новый уровень комфорта. Также разработана система диагностики технического состояния оборудования с функцией учета экспертного опыта.

**Ключевые слова:** Гибридные интеллектуальные сети, нечеткие контроллеры, нейронные сети, системы поддержки принятия решений, судовые системы комфортного микроклимата, фаззификация, база знаний.

## ANNOTATION

**Kharchenko R.Yu.** Hybrid intelligent networks for ship microclimate systems. - Manuscript. Thesis for the degree of candidate of technical sciences. specialty 05.22.20 - operation and repair of means of transport. National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, 2018.

The thesis is devoted to the solution of an important scientific and applied problem - to increase the operational efficiency of ship systems of a comfortable microclimate. The theoretical and practical foundations of increasing the efficiency of operation, management and ensuring trouble-free operation of microclimate systems based on intelligent technologies are considered, which ensures a reduction of operating costs and improvement of microclimate parameters in the ship's premises in compliance with social safety requirements.

The paper analyzes the directions of solving the problem of providing spaces for vessels with comfortable microclimate conditions together with



improvement of technical and economic indicators. It was proved that the introduction of modern intelligent systems for the operation of climate equipment and the development of methods for monitoring and diagnosing its operation are promising. The directions of research devoted to the problem of improving software and the introduction of microclimate systems of modern intelligent hybrid networks are substantiated.

In the main part of the thesis theoretical foundations of the operation of the ship's climate systems are considered, mathematical models and algorithms are obtained that take into account the dynamics when changing the parameters of the air mixture and other influences. Features of operation are described by mathematical models with various methods of management and degree of the account of influences which in turn have a different level of quality and adequacy of result.

A software implementation of the system was carried out taking into account disturbing factors and using parallel operation of several regulators. The algorithm of work and the module of the dynamically connected library are developed, the necessary analytical expressions are presented. Based on the compiled algorithms, a program module has been developed that allows calculating the parameters and performing simulation simulations. For the simulation, the expert operational data of real ships, obtained in real operating conditions, were used.

In the final section of the paper, an alternative method of operating microclimate systems with the use of intelligent systems in a single complex is considered. Analytical expressions for constructing a hybrid intelligent network are obtained. With the help of the proposed method, the system parameters are calculated using the example of individual nodes whose values coincide with the standardized ones for the satisfactory operation of these systems. The influence of perturbing factors, obtained formula expressions for the calculation of characteristics, is considered. The knowledge bases for the synthesis of the corresponding regulators are presented in a tabular form. In addition to the tabular dependences, graphical curves are shown reflecting the dependence of parameters on the model, obtained using a computer program. The developed system is suitable for operation in automatic or supervisory mode and allows to form tasks to local nodes, putting the operation of microclimate systems to a new level of comfort.. System for diagnosing the technical condition of equipment is developed, which differs in the function of accounting for expert experience.

**Keywords:** Hybrid intelligent networks, fuzzy controllers, neural networks, decision support systems, ship systems of comfortable microclimate, fuzzification, knowledge base.

Підп. до друку 17.10.2018. Формат 60x84/16. Папір офсет.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,4.  
Тираж 100 пр. Зам. № И17-10-39

Національний університет «Одеська морська академія»  
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.  
Тел./факс (0482) 34-14-12  
publish-r@onma.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 1292 від 20.03.2003