

8.4.

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МОРСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ім. адм. Макарова

Голіков Володимир Антонович

УДК 629.12.06:628.84

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА
ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ
СИСТЕМ СУДНОВОГО
МІКРОКЛІМАТУ**

Спеціальність 05.08.05 — Суднові енергетичні установки

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Миколаїв - 2000

Дисертація є рукописом

Робота виконана в Одеській державній морській академії Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти: д.т.н. проф. Суворов Петро Семенович — АТ «Українська Дунайська судноплавна компанія», президент;

д.т.н. проф. Тимошевський Борис Георгійович — Український державний морський технічний університет ім. адм. Макарова, зав. кафедрою;

д.т.н. проф. Федоровський Костянтин Юрійович — Севастопольський державний технічний університет, професор кафедри.

Провідна організація: Одеський державний морський університет Міністерства освіти і науки України

Захист відбудеться 27 листопада 2000 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.01 в Українському державному морському технічному університеті за адресою: Миколаїв, вул. Героїв Сталінграда 9.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці УДМТУ.

Автореферат розісланий 26 жовтня 2000 р.

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



Квасницький В.Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Найважливішим стратегічним напрямком розвитку морегосподарського комплексу України є створення безпечних умов праці при експлуатації суднових технічних засобів.

Судна сучасного транспортного флоту характеризуються дією на моряків шкідливих виробничо-побутових факторів фізичної і хімічної природи, виробничо обумовлений контакт з якими зберігається і в неробочий час (період міжвахтового відпочинку). Фактори морської стихії, швидка за часом і значна за величиною зміна природних, насамперед, метеорологічних умов у плаванні доповнює негативний вплив суднових виробничих факторів, що обумовлює не тільки шкідливий характер праці, але й неповноцінність міжвахтового відпочинку членів екіпажів і необхідність обмеження безупинного плавання.

Безпеку судна та охорону людського життя на морі забезпечують судові енергетичні установки і системи, основними функціями яких є створення технічної надійності судна і формування гігієнічно обґрунтованих умов проживання.

Ріст рівня автоматизації сучасних морських суден, впровадження автоматизованих комплексів по експлуатації суднових енергетичних систем, включаючи навігаційні, істотно змінили характер виробничої діяльності плавскладу, трансформували його функції як операторів на рухомому об'єкті. Це, з одного боку, створило передумови для скорочення чисельності судової служби, а з іншого — збільшило ступінь нервово-емоційної та енергетичної компонент праці.

У зв'язку з ростом функціональної значимості кожного спеціаліста у судовому екіпажі, для підвищення його надійності як елемента ергатичних систем, включаючи і судові енергетичні установки, необхідні сучасні системи життєзабезпечення для моряків у тривалих рейсах.

Прогресивні тенденції у розвитку суднобудування та експлуатації флоту, що лежать в основі поліпшення мешкання сучасних морських суден, створюють передумови для істотного підвищення продуктивності праці при збереженні високої працездатності і потенціалу здоров'я моряків. У той же час, результати численних досліджень показують, що спостерігається невідповідність між сучасними гігієнічними вимогами, що базуються на результатах нових науково-теоретичних розробок, і конкретними технічними рішеннями.

Актуальність теми досліджень пов'язана з відсутністю сучасних теорій, що вирішують проблеми адаптації людей до незвичайних умов проживання і життєдіяльності, а також нездатністю суднових енергетичних систем забезпечувати рівень сучасних гігієнічних вимог, у першу чергу, по найважливішому компоненту зовнішнього середовища — мікроклімату суднових приміщень. Такі обставини викликані складністю вивчення динамічних процесів взаємодії організму людини з навколишнім середовищем, обмеженістю

2
функціонування систем кондиціонування повітря (СКП), низьким рівнем технічних рішень по підготовці повітря та автоматизації процесів кондиціонування повітря.

В даний час ця важлива народно-господарська задача вирішується головним чином шляхом надання морякам компенсацій і пільг за шкідливі і небезпечні умови праці. Однак для незалежної України відродження морського флоту варто починати з оснащення суден новітніми зразками енергетичних установок, включаючи системи суднового мікроклімату (ССМ), здатними створювати всі необхідні умови проживання для активної діяльності людини у тривалому плаванні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами полягає в узагальненні результатів досліджень, виконаних автором і під його безпосереднім керівництвом у рамках таких державних координаційних планів і програм: плану прискорення науково-технічного прогресу на морському транспорті на 1986-1989 рр. і на період до 2000 р. і заходи щодо його забезпечення, схваленого Колегією Мінморфлоту СРСР 27 серпня 1985 р. (прот. № 48, поз. 4.8, 5.6 і 8.3); національної програми досліджень і використання ресурсів Азово-Чорноморського басейну на період до 2000 року (Указ Президента України від 16.12.1993 р., державна програма «Флот і транспорт»); пріоритетному напрямку наукових досліджень Міністерства освіти України на 1992-1996 рр. «Здоров'я людини»; пріоритетному напрямку науково-дослідних і науково-технічних програм Міністерства освіти України на 1997-1999 рр. «Енергоресурси та енергозбереження».

Основні дисертаційні дослідження відбиті в НДР № ГРО196U018699,

№ ГР018600315, № ГР01826063289.

Метою дослідження є розробка теоретичних основ проектування самонастроюваних ССМ, що вирішують науково-прикладну проблему управління параметрами повітряного середовища в приміщеннях згідно з гігієнічними вимогами проживання на суднах.

У процесі досліджень вирішувалися такі **основні задачі**:

- встановлення кількісних характеристик і функціональних залежностей, що визначають результати нервово-емоційної й енергетичної взаємодії організму моряка з зовнішнім повітряним середовищем для визначення меж області застосовності ССМ;
- розробки математичних моделей елементів ССМ для параметризації тепломасообмінних процесів у повітрі при підготовці повітря і формуванні регулюючого впливу на об'єкт управління;
- встановлення відповідності результатів моделювання заданим цілям і критеріям з прогнозом розвитку системи;
- визначення якості перехідних процесів у контурах регулювання параметрів повітряного середовища в ССМ;

- розробки методик визначення оптимальних настроювальних параметрів, алгоритмів їх завдання, оптимізації управління елементами і контролю за режимами роботи ССМ.

Об'єктом дослідження представлені суднові енергетичні установки, найважливішою функцією яких є створення комфортних умов життєдіяльності моряків у плаванні.

Предметом дослідження є ССМ з енергетичними і матеріальними процесами у повітряних потоках: відкритих територій судна, виробничих відсіків, службових приміщень, замкнутих об'ємів місць проживання, технологічними засобами підготовки повітря та управління.

Методи дослідження. У роботі застосовані методи планування експерименту, статистичної обробки даних і статистичного контролю, математичного моделювання на ЕОМ, теорій систем, імовірностей, кондиціонування повітря та інших, що охоплюють основні напрямки системотехніки.

У лабораторних і натурних суднових рейсових дослідженнях застосовані стандартні фізичні, хімічні і психофізіологічні методи, адаптовані до умов судна. Результати досліджень оброблені методами математичної статистики.

Наукова новизна роботи та отриманих результатів полягає в тому, що вперше, на відміну від існуючих СКП, режими роботи яких визначаються метеоумовами, проблема підвищення ефективності ССМ вирішена шляхом наукового обґрунтування нового принципу функціонування системи, згідно якому режими роботи формуються за тепловим станом і ступенем адаптованості людини, а підготовка повітря оптимізується за енергетичними критеріями з додатковим урахуванням метеоумов та ступеня загазованості атмосферного повітря, що відповідає основним положенням концепції кондиціонування суднового мікроклімату.

Отримали наукове обґрунтування:

- « удосконалена принципова схема перспективної ССМ, як наслідок відкриття явища підвищеної уніполярної іонізації атмосферного повітря над поверхнею води морів і океанів ($10^5 \dots 10^7$ ел.зар.см-3) за рахунок балоелектричного ефекту, встановлення закономірностей впливу фізичних і хімічних факторів, особливостей трудової діяльності та стану працездатності людини, а також рівня технічної досконалості процесів підготовки повітря на формування термодинамічного стану повітряного середовища у кондиціонованих приміщеннях суден;
- нові методи розрахунку оптимальних значень термодинамічних параметрів кондиціонованого повітря у приміщенні і при підготовці повітря для автоматичного підтримання умов комфортності мікро-

клімату та зниження до мінімально неминучих витрат енергоспоживання ССМ у статичній та динамічній;

- нові технологічні рішення з підготовки повітря в ССМ для забезпечення кондиційності мікроклімату приміщень за газовим складом повітря на рівні ГДК_{сс} шляхом підвищення тиску повітря всередині житлової надбудови до 250...350 Па і безперервного, автоматично керованого очищення притомного повітря до рівня ГДК_{сс};
- нові технічні рішення побудови багатопараметричних регуляторів комфортності оптимальних по відхиленню і швидкодії, а також фільтруючого пристрою, що забезпечує ступінь видалення забруднювача з повітря па рівні не нижче 0,999 при коефіцієнті зрощення 1,0...1,2;

Практичне значення отриманих результатів. Наукові положення, що визначають умови енергетичної і матеріальної рівноваги в системі «людина - судно - навколишнє середовище» стали основою при розробці і створенні систем життєзабезпечення, нормативних, інструктивно-методичних документів, навчально-методичної літератури.

Математичні моделі, блок-схеми, алгоритми, лабораторні і дослідні зразки нової техніки, що застосовані у даних дослідженнях, впроваджені у наступні науково-дослідні і проектно-конструкторські роботи з модернізації і створення систем та засобів колективної безпеки на суднах і в портах під час перевезення хімічно небезпечних вантажів.

Запропоновано системи і засоби, а також конструктивні схеми і технічні рішення, які відрізняються технічною новизною, захищені авторським посвідченням і патентами.

Теоретичні розробки по управлінню мікрокліматом судна дозволили приступити до вирішення широкого спектра проблем, пов'язаних з екологічною безпекою на виробництві.

Реалізація отриманих результатів. За матеріалами досліджень розроблені і впроваджені: «Техніко-експлуатаційні вимоги до автоматизації суднових систем кондиціонування повітря» (1985 р.) і «Вимоги до суднових засобів контролю і забезпечення колективної безпеки екіпажів у житловій надбудові танкерів-газовозів під час перевезення аміаку» (1986 р.); «Розробка і дослідження фільтруючих елементів систем кондиціонування повітря танкерів-газовозів» (1985 р.); «Розробка електронної приставки до датчика раннього виявлення аміаку для захисту від проникнення парів перевезеного вантажу» (19Х6 р.); «Розробка автоматичної системи регулювання газового складу повітря у приміщеннях надбудови танкера-газовоза» (1987 р.); «Розробка проекту модернізації системи комфортного кондицію-

ування повітря» (1987 р.); «Розробка і дослідження приладу для діагностики тепловологісної комфортності мікроклімату суднових житлових приміщень» (1986 р.); «Розробка і дослідження приладів управління системами динамічного комфорту» (1985-1986 рр.); «Розробка алгоритмів управління СКП з мінімально неминучими витратами» (1987 р.).

Фрагменти роботи демонструвалися на ВДНГ СРСР і відзначені однією золотою, двома срібними і 4 бронзовими медалями.

Колективна міжвідомча НДР «Розробка і впровадження комплексної системи забезпечення безпеки екіпажів спеціалізованих суден-газовозів» (1991 р.) відзначена дипломом Президії Центрального правління науково-технічного товариства водного транспорту СРСР. Акти впровадження та інші документи, що підтверджують факт реалізації результатів роботи, додаються.

Конкретна особиста участь автора в одержанні наукових результатів, викладених у дисертації, полягає у постановці цілей, формулюванні задач досліджень, одержанні експериментальних даних, проведенні натурних виробничих досліджень і випробувань, побудові математичних моделей, а також участі у технічному виконанні створених на основі проведених теоретичних розробок систем, пристроїв і приладів. В останньому випадку ступінь особистої участі автора становить 60 %. У створенні зразків техніки брали участь Вичужанін В.В., Голіков О.А., Луценко О.В., Фадєєв В.І., з якими у здобувача є публікації, авторське свідоцтво і патенти.

Автор висловлює подяку д.т.н., проф. Овчинникову П.П., д.ф.-м.н. Попову В.Г., к.ф.-м.н. Кривому О.Ф. за консультації у процесі проведення досліджень з математичного моделювання і д.м.н., проф. Шафрану Л.М. за консультації у процесі проведення фізіолого-гігієнічних досліджень з теплової адаптації моряків у рейсах і хімічної безпеки екіпажів танкерів-газовозів.

Апробація роботи. Результати досліджень доповідалися й обговорювалися на: науково-практичному семінарі «Використання ЕОМ при проектуванні суднових систем» (Москва, 1979); VIII всесоюзній науково-технічній конференції «Сучасний стан і перспективи розвитку кондиціонування повітря на суднах» (Миколаїв, 1984); міжнародній науково-практичній конференції «Морське і його здоров'я» (Болгарія, Бургас, 1988); VII всесоюзній науково-технічній конференції «Проблеми комплексної автоматизації суднових технічних засобів» (Ленінград, 1989); всесоюзній науковій конференції «Людина - океан» (Махачкала, 1990); 19-му симпозиумі з реології (Литва, Клайпеда, 1998); семінарах «Проблеми морської кібернетики» секції наукової ради АН України по проблемі «Кібернетика» (Одеса, 1982, 1986, 1989 і 1994); наукових і науково-методичних конференціях професорсько-викладацького складу ОДМА (1987-1999).

Публікації. За темою дисертації опублікована 41 наукова праця, у тому числі одна монографія, 5 навчальних посібників; 20 статей, авторське сві-

доцтво і 3 патенти на винаходи, 11 тез доповідей конференцій. Крім того, результати роботи представлені у 26 звітах про НДР.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 7 розділів, висновку, списку літератури з 298 найменувань і додатків. Загальний обсяг роботи — 408 стор., у тому числі 338 стор. основного тексту, 30 стор. списку літератури, 80 рисунків, 47 таблиць і 40 стор. додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ присвячено обґрунтуванню обраної тематики по розробці оптимальних ССМ, висвітлюються мета і задачі досліджень, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів.

В першому розділі для постановки мети і головних задач досліджень дано аналіз концепцій кондиціювання повітря і кондиціювання мікроклімату на судах, виявлено основні протиріччя між принципами гігієнічного нормування мікроклімату приміщень і теорією кондиціювання повітря, визначено об'єкт досліджень, критерії вивчення і управління ним.

Концепція кондиціювання повітря, сформована у 60-70 роки Н.К. Віт-те, А. Бартоном і О. Едхолмом, Г.Х. Шахбазяном, Е.П. Сергєєвим, Ю.М. Стенько, визначила принципи гігієнічного нормування метеорологічних параметрів мікроклімату приміщень залежно від районів плавання судна і сезонів року. Вони закріпили чільне положення теплового комфорту і теплової адаптації людини, кліматичної і сезонної диференціації стану повітряного середовища, а також виду виробничої діяльності.

Теоретичною основою концепції стало рівняння теплового балансу в процесах енергообміну людини з навколишнім середовищем

$$Q_T = M_T \pm Q_K, \pm Q_P \pm Q_B, \quad (1)$$

в якому кількість тепла Q_T , яке накопичується організмом за рахунок основного обміну речовин M_T , компенсується теплом, що віддається у навколишнє середовище шляхом конвекції Q_K , радіації Q_P і випаровування Q_B

Численні показники комфортності мікроклімату, які установлюють взаємозв'язок між самопочуттям людини і параметрами повітряного середовища, різні підходи до стандартизації умов проживання на судах вітчизняного та іноземного виробництва вказують на важливість і нерозв'язаність проблеми задоволення принципам нормування мікроклімату.

Основними перешкодами для її вирішення є: тільки суб'єктивна оцінка стану організму людини і спроба математичного опису динамічних процесів взаємодії у системі «людина - навколишнє середовище» лінійними законами статистики. Ці недоробки лягли в основу теорії кондиціювання повітря, згідно з якою організм людини не є об'єктом управління, а внутрішнім збудуючим впливом у приміщенні, як об'єкті керування, що у подальшому стало систем-

ною помилкою при створенні судових СКП. З погляду конструктивних рішень у техніці судового кондиціювання пріоритетними стали двоканальні СКП з уніфікованими центральними кондиціонерами. Режими роботи СКП, хоч і помилково, але відповідно до теорії кондиціювання повітря методично правильно, спрямовані на компенсацію основного збудуючого фактора — температури зовнішнього повітря. Управління метеорологічними параметрами повітря в приміщенні ручне, суб'єктивне. Однак на окремих океанських пасажирських судах мікроклімат у приміщеннях створюється кліматизерами і доводчиками повітря з урахуванням району плавання. На спеціалізованих судах для перевезення хімічно небезпечних вантажів до складу двоканальних СКП включене устаткування для аварійного відключення системи у випадку газової небезпеки.

З огляду на високий рівень технічної досконалості і специфічність виробництва судового устаткування предметом досліджень стали головним чином двоканальні СКП, хоча для їх порівняння розглянуто й інші типи систем.

Концепція кондиціювання мікроклімату судна стала результатом наступних досліджень, проведених Л.М. Шафраном, Ю.М. Стенько, Л.М. Мацевич, І.А. Саповим та А.С. Солодковим, О.М. Войтенко, О.Ю. Нетудихаткою, Г.Н. Новожиловим і О.П. Ломовим, відповідно до якої основним об'єктом у системі «людина - судно - природне середовище» є людина, а судовий мікроклімат — регулюючим фактором забезпечення його працездатності при збереженні здоров'я. Це істотно розширило гаму фізичних, хімічних і біологічних збудуючих факторів середовища, а також розкрило специфічні особливості життєдіяльності моряка на рухомих виробничо-комунальних об'єктах.

При порівняльному аналізі предмета досліджень і перспективної ССМ (рис. 1), що задовольняє основним принципам кондиціювання, визначалася їх відповідність основним класифікаційним ознакам за структурою і управлінням згідно з основними положеннями теорії систем (табл. 1). Це дозволило здійснити первинне окреслення структури нової системи, а подальша оцінка можливостей існуючих СКП активно протидіяти шкідливим факторам природного і судового середовища, використовуючи сучасну концепцію забезпечення оптимальних умов життєдіяльності на судах і передові наукові розробки по створенню сучасних СКП, визначила загальну наукову проблему дисертації так: розробка теоретичних основ і створення самонастроювальних ССМ. Головними задачами досліджень стали: установлення режимів роботи системи, розробка математичних моделей її елементів, забезпечення якості перехідних процесів для оптимізації роботи.

Другий розділ дисертації присвячено теоретичним і експериментальним дослідженням по визначенню характеристик основних частин системи для встановлення режимів роботи, підвищення технологічної ефективності елементів підготовки повітря і уточнення цілей та задач подальших досліджень.

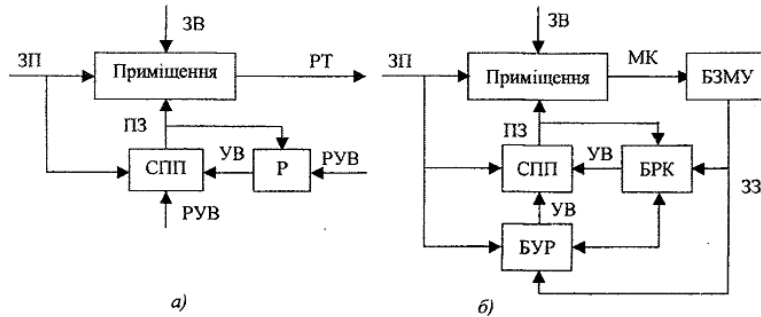


Рис. 1. Схеми взаємозв'язків у системах управління мікрокліматом існуючої (а) та перспективної (б): СПП — система підготовки повітря; Р — регулятори; БЗМУ — блок завдання мікрокліматичних умов; БРК — блок регуляторів СПП і комфортності мікроклімату; БУР — блок вибору оптимального технологічного процесу; ЗП — зовнішнє повітря; ЗВ, УВ, РУВ — збуджуючий, управляючий і ручний управляючий вплив; ПЗ, ЗЗ — прямий та зворотний зв'язки; РТ — результуюча температура; МК — параметри мікроклімату

Таблиця 1

Порівняльна характеристика СКП (а) і ССМ (б)

№№	Найменування	Система	
		(а)	(б)
1	Класифікаційні ознаки		
1.1	Спільність і розходження	прямий зв'язок	прямий і зворотний зв'язок
1.2	Управління (поведінка)	недетермінована	детермінована
1.3	Взаємозв'язок елементів	динамічний	динамічний
1.4	Складності реалізованих функцій	найпростіша (1-го рівня)	самоналаштовувальна з запам'ятовуванням (4-го рівня)
2	Властивості органа управління (принципи)		
2.1	Інформативність	не має	має
2.2	Цілеспрямованість	не має	має
2.3	Швидкодія	не має	має
3	Структура (принципи)		
3.1	Цілі	одноцільова	багаточільова
3.2	Цілісності	не відповідає	відповідає
3.3	Простоти	не відповідає	відповідає
3.4	Збалансованості (критеріальності)	не відповідає	відповідає

В ході натурних досліджень вивчені умови проживання на сімох типах суден, включаючи пасажирське, навчальне, універсальне, контейнеровоз, ро-ро і танкер-газовоз, із загальним контингентом 998 чоловік. Чоловіків — 667 осіб і жінок — 331 осіб, з них віком до 30 років — 474 осіб, до 45 років — 354 осіб, до 60 років — 138 осіб і старше 60 років — 26 осіб. При обстеженні моряків, курсантів і пасажирів використані багаторічно апробовані фізіологічні методи оцінки: самопочуття; функціонального стану нервової (включаючи аналізатори) і серцево-судинної систем організму; фізичної працездатності; стану клітинних мембран і електролітного балансу, а при теплотехнічних експериментах з устаткуванням — методи прямого вимірювання фізичних і хімічних складових середовищ, що обмінюються енергією та масою.

Статична характеристика об'єкта управління отримана з рівняння (1) після ряду доповнень. Основним недоліком цього рівняння є неповне відображення величин Q_t і M_t , які характеризують стан організму людини.

Аналіз літератури показує, що зміна тепломісткості тіла ΔI_t і температура шкіри t_k тісно корелюють ($r > 0,9$) з теплопочуттями людини $PMV \in [-3; +3]$ відн. од.]. Апроксимація експериментальних даних В.С. Кошесова, В.І. Кричагіна, що характеризують $\Delta I_t(PMV)$, і В.С. Кошесова, Т.К. Кучерук, що характеризують $t_k(PMV)$, нелінійними емпіричними залежностями за методом найменших квадратів з відносною похибкою менше 15 % дозволила установити також додаткову залежність $t_k(PMV)$ від рівня теплової адаптації людей:

$$\Delta I_t = \begin{cases} 3,5 PMV & \text{при } PMV < 0, \\ 2 PMV & \text{при } PMV > 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$t_k = \begin{cases} \exp[0,2 \ln(PMV + 4) + 3,23] & \text{неадаптовані} \\ \exp[0,27 \ln(PMV + 4) + 3,13] & \text{адаптовані} \end{cases}$$

Аналіз досліджень з адаптації людей до трудової діяльності на фоні фізичної роботи вказав на пряму залежність між M_t і частотою серцевих скорочень організму — ω_c . Якщо врахувати, що $M_t \approx 0,7 P_t$, де P_t — резервна потужність організму, а $M_t = (4 \dots 6) N_t$, де N_t — зовнішня потужність, то можна, застосовуючи методики оцінки фізичної працездатності і стомлення, експериментально встановити $N_t(\omega_c)$ в інтервалі $\omega_c \in [1,0; 2,83 \text{ с}^{-1}]$ у вигляді прямої, але при $\omega_c \in [0,8; 4,0 \text{ с}^{-1}]$ $P_t(\omega_c)$ нелінійна (рис. 2). Узагальнення натурних досліджень Н.К. Вітте, В.С. Кошесова, Г.Х. Шахбазян і Ф.М. Шлейфман, Р. Ахмедова дозволило в інтервалі температури повітря $t_{\text{в}} \in [-40; 55 \text{ °C}]$ з максима-

льною відносно похибкою 14 % визначити $P_r(\omega_c)$, $P_r(t_a)$ і $\omega_c(t_a)$ для умов відпочинку і легкої праці при $\omega_c \in [1,0; 2,5 \text{ c}^{-1}]$:

$$\begin{aligned} P_r &= (12\omega_c^2 - 27,8\omega_c + 18,7)m_p, \\ P_r &= 0,04t_a^2 - 2,37t_a + 120, \\ \omega_c &= 2,5 \cdot 10^{-4}t_a^2 + 1,33 \cdot 10^{-3}t_a + 0,983. \end{aligned} \quad (3)$$

Залежності (3) використовуються при змішаному впливі фізичних і теплових навантажень, що підтверджується нашими даними і В.С. Кошесва при обстеженні чоловіків у віці 20...28 років, середньою масою тіла $m_p = 70 \text{ кг}$. Крім того, отримані статичні функціональні залежності ряду нормованих показників комфортності PMV , PPD , EET і RT від метеорологічних параметрів повітряного середовища, які тісно корелюють ($r > 0,9$) з експериментальними даними.



Рис. 2. Енергетична характеристика і режими функціонування організму людини

людини та параметрами повітряного середовища дозволило за допомогою рівняння (1) визначати величину регулюючого параметра, наприклад,

$$t_a = K_1 f_1(\omega_c) + K_2 f_2(PMV) + K_3 f_3(v_a) + K_4 f_4(\phi_a) + K_5 f_5(t_{ep}). \quad (4)$$

У цьому рівнянні коефіцієнти $K_1 - K_5$ залежать від характеристик організму людини та її одягу.

Дослідженнями також установлено, що на вид залежностей $P_r(\omega_c)$, $P_r(PMV)$, $P_r(t_a)$ впливає ступінь адаптованості організму (див. рис. 2), яка істотно змінює кут нахилу кривої на ділянці ON і положення точки перетину N кривої OM . Для моряків величина ординати точки N також нормована: $P_{r(2,83)} \in [640; 800 \text{ Вт}]$. Вона визначає період перебування моряка на судні. Підвищення чи збереження цього періоду можливо шляхом різного виду тренувань (термотренувань).

Необхідність термінової теплової нормалізації (ТТН) моряків на судні виникає при переході з виробничих зон у місця відпочинку після впливу індивідуальних теплових навантажень.

Результати експериментальних досліджень у термокамерах, проведених Н.К. Вітте, Г.Х. Шахбазяном і Ф.М. Шлейфман, Ю.М. Стенько, В.С. Кошесвим, дозволили формалізувати цю процедуру шляхом визначення кращої температури повітря в приміщенні t_{pn} залежно від часу, дефіциту тепла в організмі після холодних навантажень і величини температури робочої зони t_{pz} після перебування в умовах нагріваючого клімату з $t_{pz} > 40 \text{ }^\circ\text{C}$:

при $\Delta t_a < 0$

$$t_{pn} = \begin{cases} 33,0 \pm 1,0; & 0 \leq \tau \leq 2,0, \\ -0,0355\tau^2 + 0,533\tau + 68 - \frac{17,8}{(-\Delta t_a)} & 2,0 \leq \tau \leq 15, \\ -\frac{34 - \frac{17,8}{(-\Delta t_a)}}{49 - \frac{21,1}{(-\Delta t_a)}}\tau + 68 - \frac{17,8}{(-\Delta t_a)} + \frac{510 - \frac{267}{(-\Delta t_a)}}{49 - \frac{21,1}{(-\Delta t_a)}} & 53 \leq \tau \leq 64 - \frac{21,1}{(-\Delta t_a)}, \\ -\frac{14}{4 + \frac{3,3}{(-\Delta t_a)}}\tau + 20 + \frac{68 - \frac{17,8}{(-\Delta t_a)}}{4 + \frac{3,3}{(-\Delta t_a)}} & 64 - \frac{21,1}{(-\Delta t_a)} \leq \tau \leq 68 - \frac{17,8}{(-\Delta t_a)}. \end{cases} \quad (5)$$

при $\Delta t_a > 0$ і $t_{pz} > 40 \text{ }^\circ\text{C}$

$$t_{pn} = \begin{cases} (4 - 0,05\tau)t_{pz} + t_{pz} - 13 & \tau \leq 10, \\ -0,15\tau + 29,5 & 10 < \tau \leq 30. \end{cases}$$

На протязі проведення процедури інші складові мікроклімату приміщення: $\phi_a = 50 \pm 5 \%$; $v_a < 0,2 \text{ м/с}$. Відносна похибка апроксимацій при отриманні виразу (5) склала не більше 10 %.

Попередня теплова адаптація (ПТА) до майбутніх кліматичних районів плавання — це штучне підвищення теплової стійкості шляхом виконання дозованого фізичного навантаження людиною при низькій або високій температурі навколишнього середовища. Основні положення ПТА сформульовано Г.Н. Новожиловим і О.П. Ломовими, згідно з якими: температура або метеорологічні параметри повітря в приміщенні повинні відповідати очікуваній; початкове фізичне навантаження $N_p = 100 \text{ Вт}$ підтримується по 45 хвилин протягом двогодинної експозиції з 15-хвилинним відпочинком після кожного циклу; щоденне нарощування N_p на 10 % наступні 5 днів, а потім N_p підвищується стрибком до 200 Вт; мінімальний період ПТА, що дає ефект, — 6 днів, $\omega_c < 170 \text{ хв}^{-1}$.

З метою загартування моряків, які постійно знаходяться у приміщеннях, а також для рекреації плавскладу, як відзначають Ю.М. Стенько, А.М. Войтенко і Л.М. Шафран, необхідні термотренування (ТТ), що пе-

редбачають коливання температури повітря у припустимих межах за синусоїдальним законом з періодом коливань 40...60 хвилин.

Результати аналізу досліджень по динаміці адаптаційних процесів в організмі людини при $\omega_0 < 3 \text{ c}^{-1}$ вказують на провідне значення температури повітряного середовища при жорстких обмеженнях на інші параметри мікроклімату.

Визначення характеристик іонного складу повітряного середовища суднових приміщень при кондиціонуванні зовнішнього повітря здійснювалося після проведення натурних експериментів протягом 48 діб на газотурбоході «Калітан Смирнов» по маршруту Одеса – Гавана – Одеса. Вимірювання іонного складу атмосферного повітря і повітря приміщень здійснювалося аспіраційним лічильником аероіонів АСІ-1 з діапазоном вимірювання від 0 до 10^7 ел. зар./см³.

Результати експериментів показали високий загальний рівень іонізації як атмосферного повітря $n_{at} \in [1,3 \cdot 10^5; 10^7 \text{ ел. зар./см}^3]$, так і повітря приміщень $n_p \in [0,09 \cdot 10^5; 30 \cdot 10^5 \text{ ел. зар./см}^3]$. У 70 % дослідів легкі позитивні іони були відсутні. Функціональна залежність концентрації іонів, отримана в результаті обробки даних, нелінійна:

$$n_p = 10^{\frac{\lg n_{at} - b}{a}}, \quad (6)$$

$a \in [0,42; 0,78]$, $b \in [1,34; 3,77]$, при $r \in [0,46; 0,8]$.

Проведені дослідження дозволили зробити висновок про можливість відмовитися від додаткової штучної іонізації повітря всередині приміщень судна.

У натурних експериментах на танкері-газовозі «Моссовет», обладнаному двоканальною СКП, перевірена ефективність засобів колективного захисту екіпажів від шкідливого впливу хімічно небезпечних вантажів. Дані експериментів, проведених протягом рейсу за маршрутом Южний – Новий Орлеан – Х'юстон – Южний з вантажем аміаку об'ємом 90.000 м³ показали наявність постійного хімічного забруднення повітря житлових і службових приміщень, що у 5...15 разів перевищує ГДК_{ср} на всіх етапах рейсу, навіть при включеній системі водяного зрошення куполів вантажних танків і лобової частини житлової надбудови. Аварійна герметизація зовнішнього контуру надбудови і переведення СКП у режим рециркуляції додатково збільшує інфільтрацію забрудненого зовнішнього повітря у приміщення надбудови.

Низька ефективність сучасних засобів колективного захисту зажадала пошуку нових способів і засобів, що забезпечують кондиційність повітря приміщень по хімічній складовій на рівні ГДК_{ср}. Визначення статичних характеристик повітряної мережі житлової надбудови судна, що створюють

надлишковий тиск при максимально можливій об'ємній швидкості притікаючого повітря — V_{tr} дало можливість установити нижню межу надлишкового тиску на рівні 250 Па, при якому припиняється інфільтрація зовнішнього повітря, а $V_{tr} = 0,75 V_{tr}^{ном}$. Підвищення тиску до 500 Па перешкоджає пересуванню людей всередині житлової надбудови.

Для визначення ступеня очищення повітря в ЦК СКП від аміаку проведено натурний експеримент на восьми режимах підготовки повітря, які включають адсорбцію, зволоження пари, зрошення, охолодження, нагрівання та осушення. Результати експерименту показали відносно високий ступінь вилучення аміаку з повітря при роботі ЦК у режимі «адсорбція – охолодження – осушення», що сягає 0,4. Разом з тим, умови комфортності мікроклімату вимагають, щоб ця величина була не менше 0,999. Це поставило додаткову задачу забезпечення необхідних і достатніх умов відносно замкнутості суднових приміщень від надходження забрудненого атмосферного повітря, створення високоефективного способу і засобів хімічного очищення повітря.

Результати досліджень дали можливість: встановити режими роботи ССМ: комфорт, ПТА, СТН і ТТ; відмовитися від додаткової іонізації повітря у приміщеннях і уточнити задачу пошуку ефективних способів і засобів колективного захисту під час перевезення хімічно небезпечних вантажів.

Третій розділ дисертації присвячено теоретичним дослідженням з розробки математичних моделей динаміки тепломасообмінних процесів в елементах ССМ, особливості яких не відбиті в теорії кондиціонування повітря й інших результатів наукових досліджень.

Через складність вивчення людського організму як системи гомеостазу, пов'язаної з розсіюванням накопиченої життєвої енергії в навколишнє середовище, формалізація цих процесів істотно утруднена. Відомі математичні моделі використовують вірогіднісні підходи і закони збереження енергії, які відбивають динаміку систем організму відносно кількості руху адаптаційного процесу.

При формуванні математичної моделі цього процесу у гомеостатичних системах для простоти доказів об'єкт дослідження представлений матеріальною точкою, яка переміщається відносно нульового положення, і до неї застосовний закон збереження енергії сил взаємодії: пружності — F_p , опору — F_{op} , інерції — F_{in} , діючої — F_d , збурюючої — $F_b(t)$. При прямолінійному русі вздовж осі переміщення x при $t \neq 0$ застосовано другий закон Ньютона: $m_{in}\ddot{x} + m_{op}\dot{x} + m_p x = F_d - F_b(t)$. Показано, що за x можна взяти будь-яку гомеостатичну константу, наприклад, температуру тіла t_t . Тоді закон збереження енергії сил для системи теплового гомеостазу буде пред-

ставлений: $\Delta Q_{in} + \Delta Q_{an} + \Delta Q_e = \Delta M_t - F_a(\tau)$, а з урахуванням попередньо отриманих функцій $M_t(\omega_c, \tau)$ і $F_a(t_m, \varphi_m, v_m, t_{p1}, \tau)$:

$$c_a m_1 \left(d\tau \frac{d^2 t_1}{d\tau^2} + \frac{dt_1}{d\tau} \right) + K_1 F_a \Delta t_1 = M(\Delta \omega_c, \tau) - F_a(\Delta t_m, \Delta \varphi_m, \Delta v_m, \Delta t_{p1}, \tau). \quad (7)$$

Це дозволяє враховувати не тільки стан адаптації, але й хід адаптаційного процесу.

Через те, що функція $F_a(\tau)$ стосується теплового навантаження і носить змішаний характер: ударний — у процесі виробничої діяльності; стрибкоподібний — при зміні праці і відпочинку; періодичний — на вахтах у нічний і денний час, зміні кліматичних зон, тому вона представлена у вигляді трьох рядів:

$$F_a(\tau) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos \mu_n \tau + b_n \sin \mu_n \tau + \sum_{n=0}^{\infty} I_n \delta(\tau - nT_0) + \sum_{n=0}^{\infty} \mu_n [1 - 2(-1)^n \sigma(\tau - nT)], \quad (8)$$

де a_n, b_n — коефіцієнти Фур'є; I_n, T_0 — коефіцієнти і період функцій Дірака; μ_n, T — коефіцієнти і період функцій Хевісайда.

Таким чином, додаткове урахування зміни кількості руху при енергообміні з довкіллям у математичних моделях дозволяє вирішувати задачі контролю, управління і прогнозу адаптаційних процесів. Рівняння (7) і (8), отримані для матеріальної точки, є базовими для формування математичних моделей з розподіленими параметрами і не суперечать основному рівнянню теплового балансу (1).

Існуючі математичні моделі динаміки тепломасообмінних процесів у повітряному потоці кондиціонованого приміщення не вирішують задачі управління відносно кожного метеопараметру (тим більше, комплексного показника комфортності), а тільки відносно температури і вологості. Причому, при складанні теплового балансу у повітряному потоці, вміст вологи залишається постійним, а при складанні рівняння матеріального балансу — навпаки. Такий підхід до моделювання процесів кондиціонування повітря є далеко не повним і вкрай нестрогим.

Запропонована математична модель процесу кондиціонування припускає, що при тепломасопередачі відбувається одночасна зміна тепломісткості, переносу маси, кількості руху, густини, стану вологого повітря, і зроблені такі допущення: сталість теплофізичних параметрів, ефекти випромінювання і провідність у радіальному напрямку враховуються у коефіцієн-

тах тепловіддачі, тепловий потік за рахунок теплопровідності і дифузії в осьовому і радіальному напрямку малий, що ним можна знехтувати.

Як об'єкт дослідження обрана частина простору — V , що відтинається площиною паралельною огороженню (стіни, стелі), де знаходяться вхідні отвори приточної вентиляції, і віддалений від неї на відстань dx . Диференціальні рівняння відносно: температури t_n отримано з рівняння теплового балансу; густини пари p_n і вологовмісту (ψ_n) — переносу маси пари у повітрі; рухомості повітря — збереження руху вологого повітря; температури огорожень $t_{огр}$ — температуропровідності повітря.

Повна система диференціальних рівнянь;

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \tau} (p_n t_n) + \bar{v} \bar{\nabla} (p_n t_n) = \frac{\alpha F}{c_n V} (t_{огр} - t_n) + \frac{q}{c_n V}; \\ \frac{\partial \psi_n}{\partial \tau} + \bar{v} \bar{\nabla} \psi_n - \frac{1}{\rho_n} \bar{\nabla} (D \rho_n \bar{\nabla} \psi_n) - \frac{1}{\rho_n} M'_{в} = 0; \\ \frac{\partial v_{en}}{\partial \tau} + \bar{v} \bar{\nabla} v_{en} + \frac{1}{\rho_n} \bar{\nabla} (P_n) - g = \frac{1}{\rho_n} \left(\sum_{i=1}^k \xi_{(i)} \frac{\rho_{n(i)} v_{n(i)}^2}{2d_{n(i)}} \right); \end{cases} \quad (9)$$

$\tau > 0; \quad 0 < x < l_1; \quad 0 < y < l_2; \quad 0 < z < l_3; \quad k = 1, 2, 3,$

де P_n — повний тиск; $Q, M'_{в}$ — тепло і масовиділення; F, d_n — поверхня огорожень, еквівалентний діаметр; $c_n, \alpha, D, \xi_{(i)}$ — теплоємність, коефіцієнти: тепловіддачі, дифузії, опору повітряному потоку. У подальшому система

У подальшому система диференціальних рівнянь (9) лінеаризована традиційними методами і приведена до операторної форми для вирішення задач автоматизації. В результаті у нелінійній і лінійній постановці побудовані дві математичні моделі мікроклімату приміщення для випадків, коли чотири параметри об'єкта управління носять розподілений і зосереджений характер.

Для вирішення задач регулювання величини надлишкового тиску повітря у приміщеннях житлової надбудови спеціалізованих суден з рівняння матеріального балансу і стану для ідеального газу отримано диференціальне рівняння відносно тиску повітря в об'ємі надбудови, за допомогою якого можна також вирішувати задачі визначення ефективності конструктивних рішень по герметизації зовнішнього контуру.

У теорії кондиціонування повітря динаміка хімічного очищення забрудненого атмосферного повітря не розглядається, а математичні моделі масообміну хімічних виробництв в основному обмежуються розглядом плівкової моделі дифузії, з огляду на важливість процесу очищення повітря, вивчено процес видалення парів хімічно небезпечних вантажів, описаний законами молекулярної, конвекційної і турбулентної дифузії та розглянуті

як плівкова модель переносу газу, так і модель відновлення, характерна для форсунок камер.

Диференціальні рівняння процесу відновлення відносно концентрації забруднювача у повітряному потоці складені з урахуванням режиму абсорбції: прямих і протіток.

Вірогідність математичних моделей перевірена у наступних наукових експериментах, що дозволило обґрунтувати вибір розроблених технічних рішень.

Четвертий розділ дисертації присвячений теоретичним дослідженням з формування зворотного зв'язку ССМ і розробці регулятора комфортності, використовуючи класичні закони регулювання і принципи оптимального управління.

у даний час існують експериментальні зразки вимірювачів комфортності, основним недоліком яких є неможливість здійснення якісного безперервного контролю за станом метеорологічних параметрів повітряного середовища, а визначення *PMV* і *PDD* не відповідає вітчизняним стандартам.

Використовуючи переваги ЕЦОМ і отримані раніше математичні залежності визначення ЕЕТ і РТ через вимірювані величини t_a, v_a, ϕ_a, t_p , розроблено, виготовлено і запатентовано судновий комфортмір. Результати випробувань комфортміру показали його універсальність і високу точність визначення вимірюваних параметрів (похибка $\pm 0,2$ °PT). Це дозволяє рекомендувати його для використання як датчик вимірювального пристрою регулятора комфортності мікроклімату.

Найважливішим елементом системи є задатчик режимів роботи ССМ, що формує режими: комфорту, ГТН, ПТА і ТТ.

Розроблений алгоритм функціонування задатчика комфорту дозволяє встановлювати оптимальні значення $PT(z)$, а також припустимі діапазони зміни t_n , v_n і ϕ_n залежно від типу приміщень, пори року і географічного району плавання судна, контролюючи географічну координату місцезнаходження судна — широту.

Режим ПТА задається централізовано при переході судна з одного кліматичного району в інший. Задатчик ПТА, в залежності від перепаду

$A_0 = PT_{(n)} - PT_{(z)}$ і терміну переходу T (доба), що дорівнює до величини $PT_{(z)}$ (теперішній район плавання) додає приріст ΔPT до досягнення $PT_{(n)}$ (майбутній район плавання), а $\Delta PT = A_0 \sin \tau^*$, де $\tau^* \in [0; 0,5\pi]$, і $\Delta \tau^* = \pi/2T$.

Режим ГТН задається індивідуально, а алгоритм формування режиму встановлює $t_{n1}(\tau)$ залежно від PMV , t_p і τ згідно з залежностями (5) і (6), а

також $\phi_{n1} = 50\%$ і $v_{n1} = 0,2$ м/с. У схемі приладу необхідна додаткова інформація про присутність людини в приміщенні і режим роботи СПП.

Режим ТТ носить коливальний характер з періодом коливань T , періодом термотренування T_{tr} (звичайно вахта — 240 хв), амплітудою $\Delta PT = PT_{(n)} - PT_{(z)}$, де $PT_{(n)}$ — відповідає оптимальній результуючій температурі району плавання, а $PT_{(z)}$ — місця постійного проживання. Крім цього, задається інтервал часу між черговими визначеннями $PT_{(z)}$ — Δt . Задатчик ТТ, алгоритм функціонування якого розроблений, через інтервал $\Delta t \in [3; 5$ хв] змінює поточне значення $PT_{(z)}$ за синусоїдальним законом протягом усього періоду тренування, направляючи сигнал дискретно у пристрій вимірювання регулятора комфортності.

Вирішення задач управління по РТ (рис. 3) здійснено традиційними методами із застосуванням рівнянь теплового та матеріального балансів для кондиціонованого приміщення, а також використання відомих законів (П, ПІ і ПІД) регулювання. Математична модель процесу регулювання представлена системою рівнянь:

Вирішення задач управління по РТ (рис. 3) здійснено традиційними методами із застосуванням рівнянь теплового та матеріального балансів для кондиціонованого приміщення, а також використання відомих законів (П, ПІ і ПІД) регулювання. Математична модель процесу регулювання представлена системою рівнянь:

$$\begin{cases} (T_n p + 1) d_n = d_{np} + \frac{M'_{Bz}}{G}; \\ (T_n p + 1,86 d_n + 1) t_n + (2500 + 1,86 t_n)(T_n p + 1) d_n = \\ = t_{np} + (2500 + 1,86 t_n) d_{np} + \frac{Q}{G}; \\ (T_n p + 1) U = PT_n; \\ Y = K_3 \frac{d(U - PT_3)}{d\tau} + K_2 \int_0^t (U - PT_3) d\tau + K_1 (U - PT_3); \\ G = K_{p0} Y, \end{cases} \quad (13)$$

де T_n, T_n — сталі часу приміщення і вимірювача; G — масова швидкість; d_n, d_{np} — вологість повітря у приміщенні і на його вході; U, Y — вихідні характеристики комфортміра і регулятора; K_1, K_2, K_3 — параметри настроювання регулятора, а K_{p0} — коефіцієнт передачі регулюючого органу.

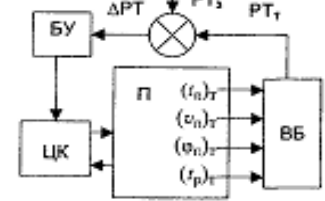


Рис. 3. Принципова схема управління мікрокліматом у приміщенні за інтегральним показником комфортності: ВБ, БУ — блоки обчислення РТ і управління; ЦК — центральний кондиціонер

Аналіз перехідних процесів вказав на ефективність ПІ закону регулювання (рис. 4). Однак через тривалий процес регулювання ($7\tau > 200$ с) ці регулятори не забезпечують перебування в межах складових мікроклімату, що ставить задачу розробки принципово нових регуляторів комфортності мікроклімату.

Для цього система рівнянь (10) приведена до нормального виду:

$$\begin{cases} \frac{d\bar{x}_1}{d\tau} = \bar{f}_1(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3, \bar{u}_4); \\ \frac{d\bar{x}_2}{d\tau} = \bar{f}_2(\bar{x}_2, \bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3); \\ \frac{d\bar{x}_3}{d\tau} = \bar{f}_3(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3). \end{cases} \quad (11)$$

де фазові координати $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$ об'єкта управління записані у відносному вигляді, а функції $\bar{u}_i(\tau)$ ($i = \overline{1,4}$) — управління, крім цього, додатково обмежені $|\bar{u}_i(\tau)| \leq 1$ ($i = \overline{1,4}$).

Задача управління полягає в такому: для забезпечення комфортності мікроклімату необхідно за мінімальний термін — T спеціальними управліннями перевести об'єкт з положення $z_i = \bar{x}_i$ ($i = \overline{1,3}$) у положення $\bar{x}(T) = 1$ ($i = \overline{1,3}$), доставляючи мінімум функціоналу

$$I = \int_0^T (PT(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3) - PT_{(3)}) d\tau. \quad (12)$$

До вирішення цієї задачі, тобто до відшукування оптимальних рівнянь $\bar{u}_i(\tau)$ ($i = \overline{1,4}$) у класі кусочно-безперервних функцій застосований принцип максимуму Л.С. Понтрягіна, відповідно до якого оптимальне управління доставляє максимум гамильтоніану

$$H(\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3, \bar{u}_4) = \sum_{i=0}^3 \varphi_i \bar{f}_i, \quad (13)$$

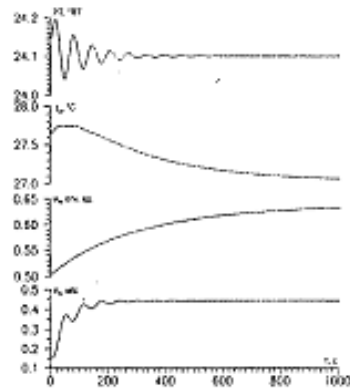


Рис. 4. Зміна фізичних параметрів повітряного середовища в приміщенні при стабілізації PT

де $J_0 = (PT(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3) - PT_{(3)})^2$, а $\bar{x}_k(\tau)$ і $\varphi_k(\tau)$ визначаються з системою:

$$\frac{d\bar{x}_i}{d\tau} = \frac{\partial H}{\partial \varphi_i} \text{ и } \frac{d\varphi_i}{d\tau} = -\frac{\partial H}{\partial \bar{x}_i} \quad i = \overline{0,3}. \quad (14)$$

Рівняння оптимального управління $\bar{u}_i$ ($i = \overline{1,4}$) представлено у вигляді $\bar{u}_i = L_i[\bar{x}_0, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3]$, а оператор L_i називається оптимальним регулятором.

Задачею синтезу оптимальних регуляторів є побудова цих операторів. Для цього узагальнено методику, відповідно до якої оптимальні керування шукаються у виді

$$u_j = \text{sign} \left\{ \sum_{i=0}^3 \lambda_{ji} x_i \right\} \quad (j = \overline{1,4}), \quad (15)$$

де λ_{ji} ($i = \overline{0,3}, j = \overline{1,4}$). Параметри управління $\bar{u}_j$ ($j = \overline{1,4}$) — відомі характеристики приточного повітря приміщення. Після приведення системи (11) до матричного виду і прийняття $\lambda_0 = 1$ задача оптимізації зведена до визначення сталих λ_i ($i = \overline{1,3}$), які доставляють мінімум функції

$$\Phi(T, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = T^2 + \sum_{i=0}^3 x_i^2(T), \quad T > 0. \quad (16)$$

Для цього застосований комплексний метод Бокса, який є модифікацією симплексного методу Неллора-Міда. На рис. 5 представлена динаміка перехідних процесів з оптимальним регулятором. Аналіз кривих цих процесів у порівнянні з кривими рис. 4 вказує на зменшення часу перехідного процесу майже в 100 разів, зниження коливальності і підтримку параметрів у зоні обмежень.

Таким чином, ґрунтуючись на принципі максимуму Л.С. Понтрягіна і повних динамічних моделях кондиціонованих приміщень, уперше теоретично обґрунтована система оптимальних багатопараметричних регуляторів, що забезпечують $PT_{(3)}$ з мінімумом середньоквадратичного відхилення і максимального швидкодії при обмеженнях на область вимірювання.

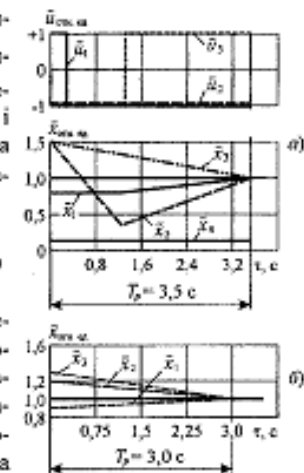


Рис. 5. Динаміка перехідних процесів при стабілізації PT з оптимальним регулятором: а — при дискретному управлінні; б — з автоматичним вибором параметрів управління у відн. од. ($\alpha_1 = -0,11$; $\alpha_2 = -0,34$; $\alpha_3 = 0,01$; $\alpha_4 = -0,32$)

П'ятий розділ присвячено дослідженням СПП, спрямованим на оптимізацію управління тепломасообмінними процесами при кондиціонуванні повітря.

Функціонально СПП розділена на три організаційних рівня: агрегатний, куди входить ЦК, холодильна машина, парогенератор, інші системи енергомасоносіїв; апаратний, що включає нагрівачі, охолоджувачі, зволожувачі, фільтруючі пристрої та контурний, до якого входять системи автоматичного регулювання (АСР) параметрів повітря та інших тепломасообмінних середовищ. Робота агрегатів і апаратів носить стаціонарний характер, а процеси у АСР — динамічний.

У даний час не існує строго формалізованих методів вибору структури системи автоматичного управління (САУ). Разом з тим, побудова оптимальних схем САУ СПП потребувало математичної формалізації, системного визначення і відтворення за текстом алгоритмів управління. Розподіл процесу кондиціонування на підпроцеси, викликані дією управляючого сигналу від РК і зовнішнього збурення з боку атмосферного повітря дозволило виділити дві підсистеми САУ СПП: управляючу (УП) та оптимізації (ОП), з яких УП формує сигнали управління у відповідності з системою алгоритмів і критеріями оптимальності, які знаходяться в ОП. Математична формалізація і система визначення об'єктів управління реалізовані відомими методами теорії систем і автоматичного управління, що дозволило отримати їх статичні та динамічні характеристики. Встановлено, що на апаратному рівні об'єкти управління мають такі характеристики: коефіцієнти передачі каналами ентальпії $K_f \in [0,3; 0,55 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\%)]$ і вологовмісту $K_d \in [-2,9; 1,8 \text{ г}/(\text{кг}\cdot\%)]$, а сталі часу $T \in [1,0; 8,0 \text{ с}]$. Застосування методик визначення параметрів настроювання регуляторів з П, ПІ та ПД законами регулювання і порівняння перехідних процесів за інтегральним показником — середньоквадратичний похибці вказало на переважне застосування ПІ регуляторів. Між тим, В.В. Вичужанін, використовуючи прямий метод О.О. Ляпунова, на базі ПІ-регулятора розробив АСР з комбінованим принципом управління, що мінімізує різницю між збуджуючим сигналом і управляючим впливом, при якому формується управляючий вплив

ренням $du_1/dt = -\rho(u_1 - K_0 f - y_0)$, а на виході ПІ-регулятора — за відхиленням $u_2 = -K_p \Delta y$, де K_0, K_p, ρ — коефіцієнти підсилення об'єкта управління, регулятора і пристрою відтворення; u_1, u_2, f — управляючі і збуджуючі впливи; y — вихідний параметр. Задання кожному АСР надходить від РК, який справляє регулюючий вплив на параметри приточного повітря.

Оптимальне управління стаціонарними режимами роботи СПП залежно від параметрів приточного, зовнішнього і рециркуляційного повітря розглянуто для двох методів регулювання: точки роси і за мінімально неми-

нучими витратами. Спосіб, методики і алгоритми оптимізації режимів для регулювання за методом мінімально неминучих витрат розроблені для зосереджених і розподілених параметрів приточного повітря і своєю новизною являють "ноу-хау". Критерієм оптимальності для регулювання за методом точки роси прийнято мінімум питомих енерговитрат у ЦК. Наведено також функціональні схеми підсистем САУ, які реалізують алгоритм оптимальних режимів СПП.

Для забезпечення оптимальної збалансованості енергоспоживання у СПП на агрегатному рівні запропоновано енергетичний критерій — к.к.д:

$$\eta_{\text{ккд}} = Q_n / \left(Q_n + \sum_{i=1}^n Q_{n_i} + \sum_{j=1}^m N_{M_j} \right), \text{ де } Q_n, Q_{n_i} — \text{загальне теплове наванта-}$$

ження приміщень і тепловитрати в агрегатах; $M_j^{\wedge}$ — потужність споживачів електроенергії. Максимум критерію забезпечується при оптимальному збігу температурних перепадів і масових швидкостей тепломасообмінних середовищ в апаратах СПП. В результаті наведено функціональну схему, де САУ СПП являє собою трирівневу систему агрегатного, апаратного і контурного оптимальних управлінь процесом кондиціонування повітря (рис. 6), технічна реалізація якої наведена далі.

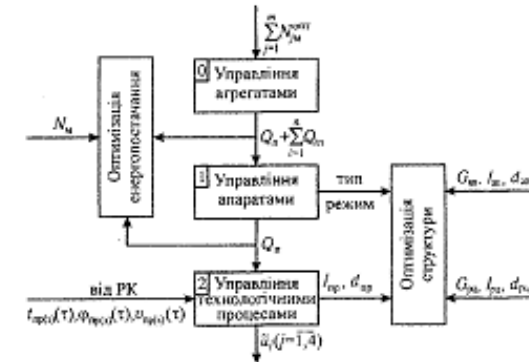


Рис. 6. Функціональна схема оптимальної САУ СПП

Шостий розділ присвячено дослідженням зі створення системи колективного захисту екіпажа від парів транспортованих вантажів, що забезпечує відносну замкнутість кондиціонованих приміщень при концентрації шкідливих парів вантажу у повітрі нижче ГДКс. Для розробки фільтруючого пристрою була складена методика розрахунку апарата, визначення

його статичних і динамічних характеристик, забезпечення критеріїв інформативності і швидкодії АСР при стабілізації концентрації забруднювача у повітрі на виході з фільтруючого пристрою.

Методика розрахунку статичних рівноважних режимів фільтруючого пристрою визначає поверхню фазового контакту, коефіцієнт масопередачі, масову витрату абсорбенту для плівкової моделі дифузії, а особливості моделі відновлення враховуються об'ємним коефіцієнтом масопередачі, числом каскадів очищення, ефективністю розпилу і розташуванням розпилювачів, які, як відзначають Б.В. Баркалов і Е.Е. Карпіс, визначаються експериментально для кожного типу форсунок і апаратів.

Порівняльний аналіз ефективності розпилу абсорбенту форсунками дозволив вибрати і сконструювати однорядне фільтруюче пристрій (рис. 7) з осьовими форсунками щільністю 2,6 шт./м² ряд і подачею води відносно руху повітря у прямоотці і протитотці. Результати випробувань форсунок дозволили визначити масову швидкість, довжину факелів і ефективність розпилу залежно від тиску перед форсунками $p_d \in [0,3; 1,0 \text{ МПа}]$ і концентрації парів аміаку на вході в апарат $y_n \in [50; 300 \text{ мг/м}^3]$ при прямоотці і протитотці. В експериментах відносна похибка не перевищувала 15 %, а відносна похибка апроксимації даних емпіричними залежностями — менше 10 %. Установлено, що об'ємний коефіцієнт масопередачі K_{ov} у зазначених вище діапазонах лінійно залежить від p_d і y_n .

$$K_{ov} = 8,1 + 5p_d - 0,02y_n \quad (17)$$

і не залежить від режиму роботи апарата. Аналіз експериментальних даних показав, що робота апарата ефективніше в режимі протитотку, коли величина $\epsilon \geq 0,999$, а при прямоотці вона не перевищує 0,994. Були зроблені висновки про те, що одноканальний фільтруючий пристрій при ступені зрощення біля одиниці забезпечує необхідний ступінь вилучення аміаку (0,999) при $y_n \leq 200 \text{ мг/м}^3$.

При хімічних навантаженнях понад 200 мг/м^3 необхідна багаторядна форсунокова камера. Тому для значень $y_n < 1000 \text{ мг/м}^3$, що спостерігаються,

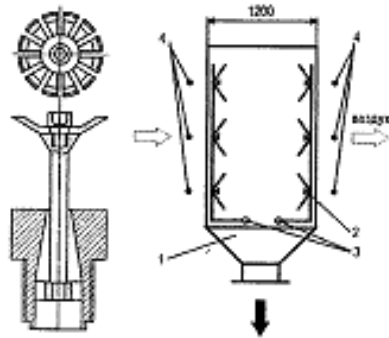


Рис. 7. Схема однорядного фільтруючого пристрою: 1 — корпус; 2 — осьова форсунка; 3 — підвід води до стійок; 4 — точки вимірювання концентрації аміаку у повітряному потоці

був розроблений і виготовлений трирядний фільтруючий пристрій. Далі, спочатку теоретично, використовуючи рівняння матеріального балансу, закон Генрі і статичні характеристики однорядної форсунокової камери, а потім експериментально отримано статичні характеристики фільтруючого пристрою $y_{k_i} = f(y_n, n_i)$ $i = \overline{1, 3}$ при $y_n \in [25; 300 \text{ мг/м}^3]$:

$$y_{k_i} = (e^{-A_i(y_n)} - a_i) \cdot y_n \quad \text{чи} \quad y_{k_i} = (356 \cdot 0,9934^{y_n})^{A_i} y_n, \quad (18)$$

де n — число діючих рядів. Загальна відносна похибка вимірювань і апроксимації становить не більше 25 %.

Теоретично отримано динамічні характеристики фільтруючого пристрою, узагальнюючі залежність концентрації від довжини l апарату та від часу τ , а також передатні функції кожного каскаду і фільтруючого пристрою в цілому.

Система диференціальних рівнянь для зміни концентрації забруднювача на кожній ділянці

$$\begin{cases} G_{w_i} \frac{\partial y_{k_i}}{\partial t} + K_{ov_i} (y_{k_i} - k_i x_{k_i}) + \rho_{w_i} V_i \frac{\partial y_{k_i}}{\partial \tau} = 0, & t \in [0, \lambda_i], \\ G_{w_i} \frac{\partial x_{k_i}}{\partial t} + K_{ov_i} (y_{k_i} - k_i x_{k_i}) + \xi_i \rho_{w_i} V_i \frac{\partial x_{k_i}}{\partial \tau} = 0, & \lambda_i = \frac{L_i}{L_3}, \end{cases} \quad (19)$$

де: G_{w_i} , G_{w_1} — масова швидкість повітря і води; $l = L_i / L_3$ — безрозмірна координата довжини; $\xi_i = G_{w_i} / G_{w_1}$; k_i — коефіцієнт, що визначає рівноважний стан парів забруднювача у повітрі; y_{k_i} , x_{k_i} — вагові частки забруднювача у повітрі і воді.

Через малу інерційність об'єкта дослідження і порівняно велику інерційність засобів вимірювання концентрації газу у повітрі експериментальні дослідження з визначення розгінних характеристик фільтруючого пристрою не проводилися.

З метою автоматичного регулювання концентрації забруднювача приточного повітря на виході з фільтруючого пристрою і стабілізації її на рівні ГДК_с запропонована комбінована АСР, яка залежно від величини збурюючого впливу y_n дискретно здійснює попередження, збільшуючи число працюючих каналів, а ПІ регулювання за відхиленням на виході з фільтруючого пристрою здійснюється шляхом зміни тиску води перед форсунками $p_d \in [0,3; 1,2 \text{ МПа}]$ (рис. 8).

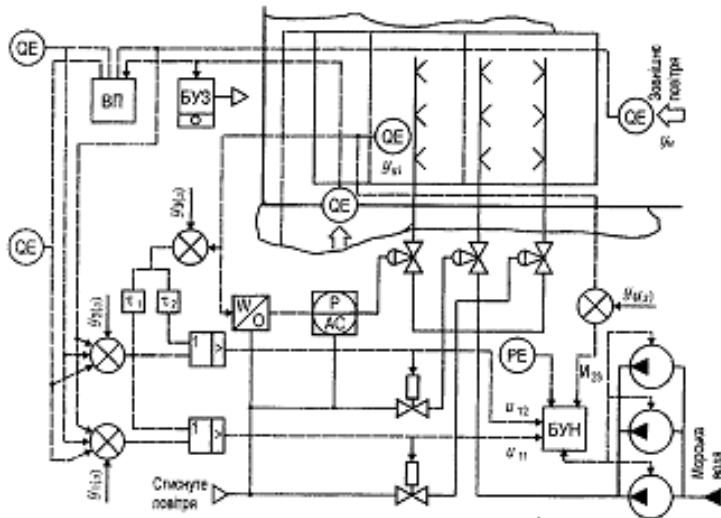


Рис. 8. Принципова схема АСР газового складу СКП

ВП — вимірювальний прилад; БУЗ — блок управління заслінкою приточного повітря; БУН — блок управління насосами; QE — газоаналізатори; PE — датчик тиску; W/O — електроннасамоперетворювач; t_1 , t_2 — таймери

Фільтруючий пристрій і АСР встановлено на трьох танкерах-газовозах у складі суднової СКП і при випробуваннях показали високу ефективність і надійність при надлишковому тиску у житловій надбудові 250...300 Па.

Сьомий розділ присвячено визначенню рангів і критеріїв оптимальності керуючих підсистем, вибору загальної структури САУ, що забезпечує самонастроювання на оптимальні стаціонарні і динамічні режими роботи ССМ, модернізації існуючих і розробці перспективних елементів САУ, розробці методів оцінки ефективності роботи системи, а також експериментальній перевірці ефективності управління ССМ у режимі комфорту і теплової адаптації.

Відповідно до позиції кожного органа в ієрархічній структурі керування для забезпечення найбільшої оперативності САУ ССМ була розбита на наступні ранги: 0 — елементи підсистеми управління режимами «комфорт» і «попередня теплова адаптація»; 1 — елементи підсистеми управління режимами «термінова теплова адаптація» і «термотренування»; 2 — елементи підсистеми управління схемою і режимами підготовки повітря у ЦК; 3 — регулятори стабілізації параметрів тепломасообмінних середо-

вищ. Алгоритми управляючих підсистем 0, 1 і 2 рангів забезпечують самонастроювання стаціонарних режимів, а алгоритми підсистем третього рангу — динамічних режимів системи.

При розгляді функціональних схем окремих підсистем, наприклад, у системі «комфорт» уточнено характеристики управляючих впливів оптимального регулятора комфортності, детально розглянута перспективна функціональна схема підсистеми управління режимами підготовки повітря, що включає пристрій оптимізації і формування команд для вибору схеми підключення каналу рециркуляції повітря і послідовності підготовки повітря у ЦК залежно від ентальпії і вологовмісту атмосферного і приточного повітря

Розглянуто також можливості підвищення чутливості інерційних датчиків - газоаналізаторів шляхом введення елемента попередження у схему вимірювання, що зменшило період спрацювання іон-селективного датчика TX-141AM майже в 10 разів. Для ССМ танкерів-газовозів наведено схему і зазначено особливості застосування й установки датчиків-газоаналізаторів в АСР газового складу повітря згідно з картою загазованості судна, що дозволяє підвищити загальну безпеку екіпажа при роботі на відкритій території судна і забезпечити швидкодію системи регулювання.

Оптимальні алгоритми функціонування підсистем контролю за роботою ССМ реалізують програми визначення показників ефективності кондиціонування мікроклімату.

Можливість практичної реалізації алгоритму оптимального контролю визначалася на роботі СКП семи морських суден в умовах рейсу. Результати натурних досліджень показали, що величина коефіцієнту комфортності $\eta_k \in [0,6; 0,9]$ відн. од., $\eta_v \in [0,64; 0,77]$ відн. од., $\eta_{\text{спн}} \in [0,22; 0,35]$ відн. од., а $\eta_{\text{ссм}} \in [0,085; 0,25]$ відн. од. Величина кожного коефіцієнту визначає збалансованість енергообміну у цих послідовно з'єднаних контурах, а їхній добуток — загальну ефективність роботи ССМ.

Суб'єктивна оцінка роботи СКП визначалася за шкалами тепло- і вологовідчуття і спеціальними опитувальними анкетами. Домінуючим неприємним фактором є денатурація повітря при підготовці повітря, загазованість і запиленість приточного повітря, шум вентиляторів і рух повітря по повітропроводам. Ступінь комфортності при суб'єктивній оцінці (80...85 %) близький до розрахункового за розробленою методикою (69...83 %). З 998 чоловік опитаних тільки 40 % не реагувало на коливання температури повітря в приміщеннях. Інші скаржилися на підвищення температури ввечері (26 %) і зниження її ранком (33 %). На коливання відносної вологості отримано зауваження від 20 % респондентів, а коливання швидкості повітря — близько 13 %. Звертає на себе увагу великий відсоток

скарг на нездужання простудного характеру (близько 50 %) і ознаки порушень серцево-судинної системи (до 20 %).

Для перевірки ефективності режиму ПТА у рейсі спільно з фахівцями Українського НДІ медицини транспорту були проведені обстеження 130 курсантів, 75 членів екіпажів, 35 осіб — керівники практики і науковці, особи чоловічої статі у віці 18-40 років. Всі обстежені були розділені на дві групи: контрольну і таку, що пройшла ПТА в камері (7 щоденних сеансів при температурі 40 °C). У всіх випробуваних у рейсі проводили психофізіологічні дослідження, що включали оцінку розумової працездатності по тестах «Кільця Ландольдта» і «Додавання з переключенням», фізичної працездатності за результатами функціональної проби «Гарвардський одноступінчатий степ-тест» і наступним розрахунком величин $PWC_{(170)}$ і максимальне споживання кисню (MCK), ω_c величину систолічного (СД) і діастолічного (ДД) артеріального кров'яного тиску до, після і через 3 хвилини після дозованого навантаження, а також визначення вмісту і співвідношення K^+ і Na^+ у змішаній слині на атомарно-абсорбційному спектрофотометрі ААС-3, що відбивають стан клітинних мембран і електролітного балансу при температурному стресі й адаптації.

Результати досліджень показали, що попередня теплова адаптація моряків знижує амплітуду гемодинамічних показників (ω_c , СД і ДД) на 12... 15 % у порівнянні з контрольною групою, зберігає фізичну працездатність до кінця рейса, самопочуття, активність і настрої. Більш ніж на 50 % знижується захворюваність адаптованих моряків з тимчасовою втратою працездатності. Динаміка показників розумової працездатності моряків, що пройшли ПТА, зберігалася до кінця рейса, тоді як у контрольної групи ці показники знизилися на 20...30 %. В адаптованій групі зміна співвідношення Na^+/K^+ на всіх етапах рейса несуттєва.

В цілому, проведені дослідження показали, що розроблена і впроваджена система ПТА моряків дозволяє не тільки поліпшити їхній психофізіологічний статус і працездатність, але й знизити показники захворюваності в рейсовому періоді, що має не тільки соціальний, але й істотний економічний ефект.

ВИСНОВКИ

Специфіка експлуатації морських і річкових суден, частиною яких є людино-машинні системи, для забезпечення надійності роботи людини-оператора вимагає створення штучного середовища мешкання за фізичним, хімічним і біологічним факторами зовнішнього середовища.

Сучасна теорія кондиціонування і суднові СКП спрямовані на задоволення тільки принципу комфортності мікроклімату, ігноруючи принципи

динамізму, кліматичної і сезонної диференціації, урахування виду трудової діяльності, а також ряду інших, фізичних, хімічних і біологічних факторів шкідливості суднового середовища мешкання.

У дисертації представлено теоретичне узагальнення і нове рішення науково-прикладної задачі підвищення ефективності й оптимізації роботи систем суднового мікроклімату, спрямованих на забезпечення комфортності мікроклімату повітряного середовища приміщень з мінімально необхідним збалансованим енергоспоживанням на підготовку повітря в умовах безперервної виробничої діяльності людини в плаванні.

В результаті досліджень встановлено таке:

1. Для формування статичних закономірностей зміни термодинамічних параметрів повітря у приміщенні в зоні оптимуму застосовне основне рівняння теплового балансу при взаємодії сил у системі «людина - навколишнє середовище», у якому для урахування фактора працездатності людини складові Q_T і M_T замінені функціями теплового стану $\Delta I(PMV)$, $t_{k(PMV)}$ і ступеня напруженості адаптаційних функцій $M_T(\omega_c)$ організму.

2. Для формування динамічних закономірностей термодинамічних параметрів повітря в зоні оптимуму залежно від теплового стану, ступеня напруженості адаптаційних функцій і необхідності підвищення резервної потужності організму застосовні емпіричні нелінійні часові функції $t_{пн}$ періодичні часові функції

3. Дослідження закономірностей формування іонного складу атмосферного повітря й повітря приміщень показали високий загальний рівень природної іонізації морського повітря, яка має тенденцію до негативної уніполярності, що дозволило відмовитися від додаткової іонізації повітря при підготовці повітря.

4. Дослідження закономірностей щодо рівня загазованості приміщень танкера-газовоза, ефективності очищення повітря існуючими апаратами підготовки повітря, а також ефективності застосовуваних методів і засобів колективного захисту показали їхню недостатність, що привело до застосування принципово нового методу і засобів колективного захисту.

5. Узагальнена математична модель динаміки процесів у системі «людина - навколишнє середовище», отримана на основі законів взаємодії сил в інерційних системах, дозволяє вирішувати широке коло задач формування комфортних мікрокліматичних та інших умов, пов'язаних з перебуванням людини в адекватних і неадекватних умовах зовнішнього середовища мешкання, а також визначення оптимальних навантажувальних характеристик для людини в умовах виробничої діяльності.

7. Розробка математичної моделі нових елементів і синтез багатопараметричного регулятора комфортності мікроклімату оптимального по відхиленню і швидкодії привела до придбання ССМ найважливішої системної якості — цілісності системи, а запрограмовані в ЕОМ нові алгоритми завдання режимів її роботи забезпечили підвищення функціональної ефективності всієї системи.

8. Для оптимізації процесів підготовки повітря удосконалено стосовно регуляторів комфортності методики й алгоритми визначення оптимальних термодинамічних параметрів приточного повітря у залежності від масової швидкості з урахуванням розподілу параметрів повітря, що приводять до зниження енерговитрат на апаратному, агрегатному і системному для СПП рівні.

9. Використання диференціальних рівнянь плівкової й об'ємної моделей процесів абсорбції газу водою дозволило розрахувати, спроектувати, виготовити й експериментально перевірити ефективність роботи нового фільтруючого пристрою, здатного забезпечити ступінь очищення повітря від хімічного забруднювача на рівні не нижче $\eta_{\text{дкк}}$ за рахунок ефективності розпилю, збільшення лінійної та масової швидкості руху абсорбенту.

10. Загальним (глобальним) режимним критерієм ефективності самонастроюваної ССМ залежно від теплового стану людини, районів роботи судна й сезону року представлений відомий енергетичний к.к.д. системи, методику визначення якого розроблено й експериментально перевірено на трьох типах СКП суден різного призначення. Величина $\eta_{\text{скп}}$ становить 22...34 %

Практичне значення:

1. Розроблено математичні моделі енергетичної взаємодії у системі «людина - навколишнє середовище», що дозволяють сформувати цільові функції управління і режими роботи ССМ.

2. Математичні моделі зміни параметрів стану повітря у приміщеннях, визначення показників комфортності, алгоритму їх завдання залежно від району плавання, пори року і типу приміщень, а також реалізації цільових функцій управління дозволили розробити багатопараметричний регулятор комфортності.

3. Розроблені способи, методи й алгоритми управління підготовкою повітря дозволили підвищити якість, точність, швидкодію процесів регулювання та збалансованість енергоспоживання.

4. Створення системи раннього виявлення шкідливих і небезпечних речовин у місцях можливої дислокації людей забезпечує безпеку їх життєді-

яльності, а також підвищує інформативність ССМ щодо прискорення введення в дію засобів колективного захисту екіпажу.

5. Самонастроювана ССМ задовольняє принципам гігієнічного нормування мікроклімату приміщень за фізичними і хімічними факторами та відповідає основним класифікаційним ознакам систем.

6. Експериментальна перевірка запропонованого алгоритму теплової адаптації і методики визначення ефективності роботи ССМ підтвердили їх реалізованість і високу ефективність.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ЩО ВІДБИВАЮТЬ ГОЛОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Голиков В.А. Научные основы управления микроклиматом судна. - Одесса: ОГМА, 1990. - 321 с.

2. Судовые микропроцессорные управляющие системы: Учебное пособие для вузов / Н.П. Агафонов, Н.И. Верлатый, В.А. Голиков, Н.В. Таранчук, Ю.М. Цюпко - М.: Транспорт, 1994. - 136 с.

3. Голиков В.А., Агафонов Н.П., Фадеев В.И. Методы совершенствования автоматического управления судовыми системами кондиционирования воздуха (методика, алгоритмы оптимизации и наладки): Учебное пособие для вузов. - М.: В/О «Мортехинформреклама», 1991. - 36 с.

4. Голиков В.А. Оптимальное управление судовыми холодильными установками и системами кондиционирования воздуха: Учебное пособие для вузов. - М.: «Мортехинформреклама», 1985. - 36 с.

5. Холодильные установки газозовов и их эксплуатация: Учебное пособие для вузов / В.А. Голиков, О.Н. Занько, А.А. Козьминых, В.Т. Писк-лов - М.: В/О «Мортехинформреклама», 1988. - 24 с.

6. Технология научных исследований и проблемного преподавания: Метод, рекомендации / И.И. Крицкий, В.А. Голиков - М.: В/О «Мортехинформреклама», 1980. - 66 с.

7. Голиков В.А., Тимофеев П.П. Опыт эксплуатации системы комфортного кондиционирования воздуха на теплоходах типа «Кишинев». // Морской транспорт. Серия ТЭФ - 1983. - Вып. 10 (558). - М.: ЦБНТИ ММФ. - С. 12-18.

8. Голиков В.А. Динамический комфорт в судовых помещениях с помощью систем комфортного кондиционирования, // Морской транспорт. Серия ТЭФ - Э.И. - 1984. - Вып.2 (574). - М.: ЦБНТИ ММФ. - С.13-24.

9. Шафран Л.М., Фадеев В.И., Голиков В.А., Покора Л.И. Гигиеническая оценка эффективности средств коллективной защиты экипажей судов-газовозов // Гигиена и санитария. - 1986. - № 6 - С. 86-88.

10. Голиков В.А., Цюпко Ю.М. Применение ионоселективных электродов в системах коллективной защиты экипажей танкеров-газовозов // Мор-

9. Шафран Л.М., Фадеев В.И., Голиков В.А., Покора Л.И. Гигиеническая оценка эффективности средств коллективной защиты экипажей судов-газовозов // Гигиена и санитария. - 1986. - № 6 - С. 86-88.

10. Голиков В.А., Цюпко Ю.М. Применение ион-селективных электродов в системах коллективной защиты экипажей танкеров-газовозов // Морской транспорт. Серия ТЭФ - 1987. - Вып. 4(468). - М.: ЦБНТИ ММФ. -С. 1-6.

11. Шафран Л.М., Голиков В.А. Микроклиматическая эффективность судовых систем кондиционирования воздуха // Судостроение. - 1990. - № 2. -С. 14.

12. Голиков В.А. Перспективы улучшения условий обитаемости на морских судах // Технология судостроения и сварочного производства: Сб. науч. трудов - Николаев; УГМТУ, 1996. - С. 99-100.

13. Голиков В.А. Вывод и решение дифференциального уравнения температуры в замкнутом пространстве кондиционируемого воздуха // Технология судостроения и сварочного производства: Сб. науч. тр. - Николаев: УГМТУ, 1996.-С. 101-105.

14. Голиков В.А. Идентификация ионного состава кондиционируемого воздуха судовых помещений в различных акваториях мирового океана // Автоматизация судовых технических средств: *Науч.-техн. сб.* — Одесса: ОГМА, 1997. - Вып. 2. - С. 15-20.

15. Голиков В.А. Математическое обеспечение адаптивной судовой системы кондиционирования воздуха // Автоматизация судовых технических средств: Науч.-техн. сб. - Одесса: ОГМА, 1997. - Вып. 2. - С. 21-24.

16. Голиков В.А., Луценко О.В., Терновский В.Б. Управление микроклиматом кондиционируемых помещений по комплексным показателям // Автоматизация судовых технических средств: Науч.-техн. сб. - Одесса: ОГМА, 1997. - Вып. 2. - С. 25-29.

17. Овчинников П.Ф., Голиков В.А. Математическая модель абсорбции газа жидкостью основанная на дифференциальных уравнениях диффузии // Судовые энергетические установки: Науч.-техн. сб. - Одесса: ОГМА. 1998. - Вып. 1.-С.47-52.

18. Голиков В.А. Фильтрующее устройство для химически опасных загрязнителей воздуха // Судовые энергетические установки: Науч.-техн. сб. - Одесса: ОГМА, 1998. - № 2. - С. 107-116.

19. Голиков В.А., Мамкичев Н.А. Безопасная перевозка химически опасных грузов //Автоматизация судовых технических средств: Науч. -техн. сб. - Одесса: ОГМА, 1999. - Вып. 3. - С. 13 -20.

20. Голиков В.А., Мамкичев Н.А., Попов В.Г. Математическая модель статического процесса абсорбции примесей в воздухе //Автоматизация судовых технических средств: Науч.-техн. сб. - Одесса: ОГМА, 1999. - Вып.4. - С.45-51.

22. Голиков В.А. Методика расчета изменения давления воздуха в больших объемах при принудительной вентиляции // Судовые энергетические установки: Науч.-техн. сб. - Одесса: ОГМА, 1999. - № 3. - С. 42 -48.

23. Голиков В.А., Кривой А.Ф. Нелинейная математическая модель состояния: температуры, влагосодержания и скорости воздушного потока в кондиционируемом помещении // Судовые энергетические установки: Науч.-техн. сб. - Одесса: ОГМА, 1999. - Вып. 4. - С. 17-27.

24. Овчинников П.Ф., Голиков В.А. Математические модели адаптации человека у изменениям окружающей среды // Доп. НАН України. - 2000. -№ 2. - С. 204-208.

25. Овчинников П.Ф., Голиков В.А. О тепловой адаптации человека к окружающей среде // Доп. НАН України. - 2000. - № 5. - С. 186-188.

26. Голиков В.А., Кривой А.Ф. Оптимальное многопараметрическое управление микроклиматом кондиционируемого помещения // Сб. науч. тр. УГМТУ им. адм. Макарова. - Николаев: УГМТУ, 2000. - № 1 (367). - С. 87-98.

27. Голиков В.А., Мамкичев Н.А., Попов В.Г. Линейная математическая модель динамики очистки воздуха от химических загрязнителей в центральном кондиционере // Сб. науч. тр. УГМТУ им. адм. Макарова. - Николаев: УГМТУ, 2000. - № 2 (368). - С. 78-83.

28. А. с. 1189182 СССР. Способ автоматического регулирования параметров воздуха в помещении / В.В. Вычужанин, В.В. Медзельский, В.А.Голиков (СССР) - № 3670077/29-06; Заявл. 03.11.83,. Оpubл. 12.01.1985, Бюл.№4.

29. Патент 1796060 РФ, МКИ 01 № 25/66. Датчик росы/ А.А.Голиков, В.А.Голиков, Н.П.Агафонов (Украина). - № 4815217/25; Заявл. 16.04.90; Оpubл. 15.02.93, Бюл. № 6. - 3 с.

30. Патент 2082157 РФ МКИ 01 №25/66. Способ измерения температуры точки росы сжатой газовой среды / В.А. Голиков (Украины). -№ 4943362/25; Заявл. 08.04.91; Оpubл. 20.06.97, Бюл. № 17. - 3 с.

31. Патент 2029927 РФ МКИ 01 К3/66. Устройство для определения условий тепловой комфортности микроклимата. / В.А. Голиков, О.В. Луценко (Украина). - № 4866892/10; Заявл. 30.05.80; Оpubл. 27.02.95, Бюл. № 6. - 3 с.

32. Голиков В.А., Яроцкий С.В. Математическое моделирование и применение ЭВМ при проектировании судовых систем кондиционирования и холодильных установок // Тезисы докл. науч.-практ. семинара «Использование ЭВМ при проектировании судовых систем. - М.: Ин-т повыш. квалиф. работн. судостроит пром-сти. - 1979. - С. 47-50.

33. Голиков В.А. Системный подход при создании адаптивных систем кондиционирования // Тезисы докл. VIII Всесоюз. науч.-техн. конф. «Современное состояние и перспективы развития кондиционирования воздуха на судах» - Ч. 4. -Николаев: НТО им. ак. А.Н. Крылова - 1984. - С. 42 -47.

35. Голиков В.А., Дулдиер А.П., Луценко О.В. Перспективы создания судового микроклимата и его технические средства реализации // Тезисы докл. VIII Всесоюз. науч. - техн. конф. «Современное состояние и перспективы развития кондиционирования воздуха на судах» — Ч. 1. — Николаев: НТО им. ак. А.Н. Крылова - 1984. - С. 121 -124.

36. Голиков В.А., Проценко В.И. Экспресс - методы определения эффективности работы судовых систем комфортного кондиционирования воздуха (СКВ) и опыт их эксплуатации // Тезисы докл. VIII Всесоюз. науч.-техн. конф. «Современное состояние и перспективы развития кондиционирования воздуха на судах» - Ч. 1. - Николаев: НТО им. ак. А.Н. Крылова -1984.- С.125-128.

37. Голиков В.А., Фадеев В.И. Анализ опыта эксплуатации систем комфортного кондиционирования на специализированных судах - газозазах, перспективы комплексной обработки воздуха // Тез. докл. VIII Всесоюз. науч.-техн. конф. «Современное состояние и перспективы развития кондиционирования воздуха на судах» - Ч. 1. - Николаев: НТО им. ак. А.Н. Крылова - 1984. - С. 28 -31.

38. Голиков В.А. Математическое моделирование процессов терморегуляции моряка при создании динамических систем управления микроклиматом // Тезисы докл. Междунар. науч. - практ. конф. «The sailor and his health». - Бургас (Болгария). - 1988. - С. 59-60.

39. Голиков В.А. Оптимальное управление микроклиматом в судовых кондиционируемых помещениях // Тез. докл. VII Все союз, науч.-техн. конф. "Проблемы комплексной автоматизации судовых технических средств" - Л., 1989. - С. 136.

40. Голиков В.А., Луценко О.В. Экологические аспекты в проблеме изучения гигиены моря и водоохраных объектов // Матер. Всесоюз. науч. конф. «Человек - океан». - Ч. 1. - Махачкала: МЗ СССР, 1990. - С. 6-10.

41. Голиков В.А., Луценко О.В. Управление микроклиматом в помещениях по интегральному показателю // Матер. Всесоюз. науч. конф. «Человек - океан». - Ч. 1. - Махачкала: МЗ СССР, 1990. - С. 125-126.

42. Голиков В.А., Луценко О.В. Повышение энергетической эффективности воздухоподготовки в системах кондиционирования воздуха // Матер. Всесоюз. науч. конф. «Человек - океан». - Ч. 1. - Махачкала: МЗ СССР, 1990.-С. 126-127.

43. Ovchinnikov P. Ph., Golikov V. A. Modeling of the process of a person's adoption to wards the change of the surroundings. // XIX symposium on rheology (collection of abstracts), Klaipeda, Lithuania, 1998. - P. 50.

Особистий внесок здобувана у праці, що опубліковані у співавторстві:
[2] — написання розділу по використанню ЕОМ при управлінні технологічними процесами та діагностуванні; [3] — обґрунтування розробки методики та алгоритмів оптимального управління СПП; [5] — аналіз експлуатації засобів загальної безпеки на танкерах-газовозах; [6] — постанов-

ка цілі та задач досліджень, по темі роботи, написання розділу; [7] — обробка даних по ефективності роботи СКП, формулювання висновків; [9] — обробка даних його ефективності роботи засобів загальної безпеки на т/х "Моссовет" та "Смольный", обґрунтування способу вилучення аміаку з повітря; [10] — розробка способу підвищення чутливості іон-селективного датчика; [11] — розробка математичного апарату для обчислення інтегральних показників комфортності мікроклімату, збирання та обробка даних з ефективності роботи СКП, написання статті; [16] — розробка математичної моделі АСР параметрів повітря у приміщенні, обробка результатів обчислення якості перехідних процесів, формулювання висновків; [17] — постановка задачі, розробка математичних моделей плівкової дифузії та моделі оновлення, написання статті; [19] — обробка та представлення результатів досліджень по забрудненню повітря при перевезенні хімічно небезпечних вантажів; [20, 22-25] — обґрунтування, розробка математичних моделей, обробка результатів обчислення, формулювання висновків; [27] — розробка способу оптимального регулювання апаратами СПП; [28] — розробка датчика вологості повітря для хімічно небезпечного середовища; [30] — розробка математичного апарату та принципової схеми обчислювача комфортності мікроклімату; [31] — розробка алгоритмів та програм для ЕОМ по обчисленню характеристик тепломасообмінюючихся середовищ, режимів роботи апаратів механізмів СКП і холодильних установок, написання тез; [33-35] — розробка експрес-метода, визначення ефективності роботи судових СКП, обробка даних експлуатаційних випробувань, формулювання висновків, написання тез; [38-40] — систематизація експериментальних та обчислювальних даних по стану середовища навколо судна, яке є збурюючим фактором для ССМ, наведення результатів досліджень по формуванню зворотного зв'язку у системі та управлінню СПП за мінімумом питомих енерговитрат; [41] — розробка математичної моделі теплової адаптації людини.

Голиков В.А. Підвищення ефективності та оптимізація режимів роботи систем суднового мікроклімату. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.08.05 — суднові енергетичні установки. - Український державний морський технічний університет, Миколаїв, 2000.

Вперше вирішення проблеми підвищення надійності суднових енергетичних установок спрямоване на забезпечення працездатності та збереження здоров'я основного елементу системи: людини-оператора. Застосовуючи системний підхід до принципів гігієнічного нормування факторів навколишнього середовища та умов праці на судні, розроблені теоретичні основи побудови систем суднового мікроклімату. Науково обґрунтовано математичні моделі процесів у елементах системи, що встановлюють кількісні залежності між середовищем судна, станом здоров'я моряка та умовами виробничої діяльності. Викладені результати досліджень по розробці багатопараметричних оптимальних регуляторів комфортності, побудові системи колективної безпеки на танкерах-газовозах та самонастроюваних систем автоматичного управління процесами кондиціювання мікроклімату приміщень.

Ключові слова: судно, людина, мікроклімат, система, автоматизація, оптимізація.

Golikov V.A. Increasing of efficiency and optimisation of working modes of ship microclimate systems. — Manuscript.

Thesis on maintenance a scientific degree of the doctor of engineering science by speciality 05.08.05 — Ship Power Plants. — Ukrainian State Maritime Engineering University, Nikolaev, 2000.

For the first time the decision of a problem of increasing the reliability of ship power plants is directed on provision workability and saving health of a principal element of a system: human-operator. Applying a system approach to the principles of a hygienic normalization of the factors of an environment and work conditions on a vessel, the theoretical fundamentals of a ship microclimate systems construction are designed. Mathematical models of processes in system elements which determine quantitative dependence between vessel environment, health condition of a seaman and conditions of industrial activity are scientifically proved. The results of research on development of multiparameter optimum comfort adjusters, construction of collective safety system on gas tankers and self-tuning systems of automatic control of processes of conditioning of a locations microclimate are stated.

Keywords: ship, man, microclimate, system, automation, optimisation.

Голиков В.А. Повышение эффективности и оптимизация режимов работы систем судового микроклимата. — Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.08.05 — судовые энергетические установки. - 'Украинский государственный морской технический университет, Николаев, 2000.

Современная теория кондиционирования воздуха и конкретные технические решения судовых энергетических систем оказались неспособными решать проблемы адаптации моряков к необычным условиям проживания и жизнедеятельности. Это резко сокращает сроки пребывания людей в плавании. Решение проблемы повышения работоспособности моряков при сохранении здоровья осуществлено путём целенаправленного управления параметрами воздушной среды, вырабатываемого в системах судового микроклимата (ССМ). Для этого разработана теория, согласно которой в ССМ объектом управления является человек с выходными параметрами состояния — самочувствием и работоспособностью, а входным — микроклимат помещения. Система воздухоподготовки (СВП) вместе с кондиционируемыми помещениями представляют орган управления.

В процессе теоретических исследований определены режимы работы ССМ (комфорт, ПТА, СТН и ТТ), целевые функции управления, а основное уравнение энергетического баланса в системе «человек - окружающая среда» дополнено функциональными зависимостями, характеризующими нервно-эмоциональное и энергетическое состояние организма человека. Моделирование адаптационных процессов в объекте управления дифференциальными уравнениями 2-го порядка позволило установить состояние и ход этого процесса. Математическое моделирование элементов органа управления дифференциальными уравнениями 1-го порядка относительно параметров воздушной среды привело к формированию прямой и обратной связей системы с регулятором комфортности и СВП.

Осуществлён синтез многопараметрического оптимального по отклонению и быстродействию регулятора комфортности микроклимата. Разработаны методики и алгоритмы оптимального управления режимами работы, воздухораспределением и энергопотреблением в СВП. Установлены условия относительной замкнутости ССМ от внешней среды в процессе транспортировки химически опасных грузов, согласно которым в объёме жилой надстройки создаётся избыточное давление воздуха, а приточный воздух очищается в СВП до ПДКс. Изготовлены и испытаны опытные образцы измерителя комфортности, задатчиков режимов работы ССМ, система раннего оповещения о химической опасности, автоматическое трехкаскадное фильтрующее устройство, измерители и датчики энтальпии, вла-

госодержания, температуры точки росы воздуха, а также двухуровневая подсистема выбора оптимального режима СВП.

В результате разработаны теоретические основы построения самонастраивающихся **СЕМ**, созданы опытные образцы её элементов, что позволило решить научно-прикладную проблему управления параметрами воздушной среды в соответствии с гигиеническими требованиями обитаемости судов.

Ключевые слова: судно, человек, микроклимат, система, автоматизация, оптимизация.