DOI [https://doi.org/10.15589/znп2021.2\(485\).6](https://doi.org/10.15589/znп2021.2(485).6)
УДК 629.5.04: 629.5.048

MODELING MICROCLIMATE OF SHIP PREMISES IN MATLAB-SIMULINK

МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ СУДНОВОЇ НАДБУДОВИ В MATLAB-SIMULINK

Viktor A. Bily

bily.viktor@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6354-0790

Volodymyr A. Golikov

vlad.ant.golikov@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9953-2116

В. А. Білий,

аспірант

В. А. Голіков,

докт. техн. наук, професор

National University “Odesa Maritime Academy”, Odesa

Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса

Abstract. Purpose. Improvement of the crew safety and comfort requires a study of temperature, humidity and indoor air quality dynamics. The purpose of the study is to develop a modeling technique that will allow to synthesize a model of the microclimate of the ship superstructure as a continuous hierarchical dynamic system. The structural elements of the system being modeled are interconnected air chambers: premises and air ducts. Mathematical description of air tanks should allow modelling of the indoor air temperature, humidity and gas composition dynamics.

Method. The study utilizes methods of abstraction, system analysis, comparison and synthesis. The object of the study is the microclimate of the ship's superstructure. The subject of the study is modeling of air temperature, humidity and gas composition the dynamics. The superstructure is considered to be a set of rooms connected by supply and exhaust air ducts. The corresponding elements of the moist air subsystem of the Matlab-Simulink software package were used for modeling of premises and air ducts.

Results. Structural identification of the control object has been performed. Existing mathematical models, approaches and systems of microclimate modeling are analyzed. A method of modeling on the basis of the humid air subsystem of the Matlab-Simulink software package using the design documentation of the central air conditioning system and superstructure drawings is proposed. The method has been applied to the synthesize the model of the gas carrier superstructure microclimate. As a result of modeling, the acceleration curves of the average temperature and average humidity of the ship's superstructure were calculated. The adequacy of the obtained model is shown.

Scientific novelty. The proposed method allows to synthesize a model of the microclimate of the superstructure of any vessel and to investigate the characteristics of the system that were not taken into account during the design of the vessel, to implement and improve the use of centralized and distributed filtration systems and automatic air control.

Practical importance. The application of the technique allows to improve and develop filtration systems and control systems for the preparation and distribution of superstructure air both at the design stage of the vessel and during its operation.

Key words: safety; microclimate; indoor air quality; modeling; comfort.

Анотація. Мета. Підвищення безпеки життєдіяльності та комфорту екіпажів морських та річкових суден потребує дослідження динаміки температури, вологості та вмісту забрудненості в повітрі приміщень. Метою дослідження є розробка методики моделювання, яка дозволить синтезувати модель мікроклімату надбудови судна як неперервної ієрархічної динамічної системи. Структурними елементами системи, що моделюється, виступають взаємопов'язані повітряні ємності – приміщення та повітропроводи. Математичний опис повітряних ємностей має забезпечувати можливість дослідження динаміки температури, вологості та газового складу повітря.

Методика. Під час проведення дослідження застосовувались методи абстрагування, системного аналізу, порівняння, синтезу. Об'єктом дослідження є мікроклімат приміщень суднової надбудови. Предметом дослідження є моделювання динаміки температури, вологості та газового складу повітря. Надбудова судна розглядається як

сукупність приміщень, пов'язаних між собою повітропроводами припливного та вихідного повітря. Для моделювання приміщень та повітропроводів були використані відповідні елементи підсистеми вологого повітря програмного пакету Matlab-Simulink.

Результати. Здійснено структурну ідентифікацію об'єкта керування. Проаналізовано наявні математичні моделі, підходи й системи моделювання мікроклімату. Запропоновано методику моделювання на базі підсистеми вологого повітря програмного пакету Matlab-Simulink з використанням проєктної документації центральної системи кондиціонування та креслень надбудови. Методику застосовано до синтезу моделі мікроклімату надбудови судна-газовозу. В результаті моделювання були розраховані криві розгону середньої температури та середньої вологості повітря приміщень надбудови судна. Показана адекватність отриманої моделі.

Наукова новизна. Запропонована методика дає змогу синтезувати модель мікроклімату надбудови будь-якого судна та досліджувати характеристики системи, які не були враховані під час проєктування судна, впроваджувати та підвищувати ефективність використання централізованих та розподілених систем фільтрації та автоматичного управління підготовкою повітря.

Практична значимість. Застосування методики дозволяє розробляти системи фільтрації та системи управління підготовкою та розподіленням повітря надбудови як на стадії проєктування судна, так і під час його експлуатації.

Ключові слова: безпека життєдіяльності; мікроклімат; якість повітря приміщень; моделювання; комфортність.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Морський та річковий транспорт характеризується єдністю умов праці та проживання й тривалим знаходженням екіпажу під впливом шкідливих факторів протягом рейсу. Суднові технічні засоби як створюють потрібні умови для перебування екіпажу на борту, так і можуть на них впливати. Протягом експлуатації судна відбувається акумуляція шкідливих речовин в повітрі приміщень. Це небезпечно для людини через знаходження її під впливом забруднювачів тривалий час без перерв. У зоні ризику знаходяться, зокрема, екіпажі суден, що перевозять небезпечні вантажі, такі як танкери-хімовози [1] та танкери-газовози. Проблема незадовільної якості повітря у приміщеннях також актуальна для пасажирських суден [1; 2; 3]. Джерелом забруднення виступають як матеріали конструкції та оздоблення приміщень [4], так і недоліки побудови систем вентиляції, через які викиди з двигунів потрапляють у припливне повітря [5]. Стационарні газомірювальні системи є обов'язковими лише для суден танкерного флоту, вони призначені для забезпечення вибухонебезпечності судна та не виявляють формальдегід, озон, забруднювачі, що є складовими вихлопних газів, зокрема оксид вуглецю, оксиди азоту й сірки, тверді частинки сажі тощо.

Для забезпечення оптимальної працездатності моряків та безпеки пасажирів параметри повітря житлових та виробничих приміщень мають підтримуватися в безпечних та комфортних межах. Створення систем автоматичного керування якістю та комфортністю повітря й дослідження їх ефективності потребує синтезу математичної моделі мікроклімату суднової надбудови як об'єкта керування температурою, вологістю та газовим складом повітря.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Для моделювання динаміки параметрів повітря приміщень існують декілька підходів.

Математична модель мікроклімату судового приміщення з зосередженими параметрами у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь відносно чотирьох змінних – температури, вологості, швидкості потоку повітря та температури огорожувальних поверхонь – запропонована у роботі В.А. Голікова [6].

У своїй роботі К.В. Ходарина [7] розвинула дослідження В.А. Голікова й використала операторну форму системи звичайних диференціальних рівнянь для дослідження процесів стабілізації інтегрального показника комфортності мікроклімату.

Автори А. Ryzhov, Н. Ouerdane, Е. Gryazina [8] використали спрощену модель мікроклімату приміщення у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь відносно температури повітря приміщення та ефективної температури інерційних мас огорожень для оптимізації управління за методом Прогностичного Контролю (Model Predictive Control).

І. Schijndel [9] провів дослідження 25 методик імітаційного моделювання динаміки теплопередачі та параметрів повітря приміщень, більшість з яких пройшли верифікацію та перевірку шляхом натурного експерименту. У роботі показані переваги моделювання мікроклімату приміщень з використанням пакету Matlab-Simulink, який дозволяє будувати моделі на базі звичайних диференціальних рівнянь і включає бібліотеки готових структурних блоків, інструменти ідентифікації об'єктів керування та оптимізації систем управління.

У дослідженні [10] показані перспективи використання підсистеми вологого повітря програмного пакету Matlab-Simulink для моделювання динаміки газового складу, температури й відносної вологості повітря окремого виробничого приміщення.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕ ВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Аналіз останніх досліджень показав потребу в створенні методики моделювання мікроклімату, що

дозволить досліджувати динаміку параметрів повітря окремих приміщень, палуб та надбудови судна в цілому.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є розробка методики моделювання, яка дозволить синтезувати модель мікроклімату надбудови судна як неперервної ієрархічної динамічної системи. Структурними елементами системи, що моделюється, є взаємопов'язані повітряні ємності – приміщення та повітропроводи. Математичний опис повітряних ємностей має забезпечувати можливість дослідження динаміки температури, відносної вологості та газового складу повітря.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є мікроклімат приміщень суднової надбудови. Предметом дослідження є моделювання динаміки температури, відносної вологості та газового складу повітря.

Дослідження проводилось з використанням системного підходу й методів абстрагування, системного аналізу, порівняння, синтезу.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Застосування системного підходу дає можливість розглядати мікроклімат суднової надбудови як відкрити динамічну систему, що складається з елементів і підсистем – декількох палуб, установки кондиціювання повітря та магістральних повітропроводів, що їх з'єднують між собою. Палуби як підсистеми містять сукупність суміжних приміщень та повітропроводів припливного та вихідного повітря.

Кількісний опис досліджуваної системи потребує виділення сукупності параметрів та характеристик.

Параметри описують властивості системи і є початковими даними для аналізу системи. До них слід віднести:

- геометричні розміри приміщень, повітропроводів та їх топологію;
- розрахункові масові витрати припливного повітря для кожного приміщення;
- площу та теплопровідність зовнішніх огорожень надбудови;
- холодинну потужність та масову витрату повітря установки кондиціювання повітря.

Характеристики описують вторинні властивості системи, які визначаються розв'язанням задачі аналізу і є функціями параметрів та чинників впливу середовища. Мікроклімат надбудови характеризується температурою, відотною вологістю та газовим складом повітря її приміщень.

Чинниками впливу навколишнього середовища на досліджувану систему є температура, вологість і газовий склад зовнішнього повітря та теплообмін через зовнішні огороження.

Для синтезу моделі мікроклімату надбудови згідно з зазначеними вимогами може бути використана

методика, яку складають такі процедури:

1) синтез структури моделі надбудови як сукупності палуб-підсистем, а також установок кондиціювання повітря, пов'язаних головними повітропроводами;

2) синтез моделей палуб-підсистем шляхом відтворення топології приміщень та повітропроводів з урахуванням їх геометричних розмірів згідно з кресленнями надбудови та документацією центральної системи кондиціювання. Якщо для цілей дослідження достатньо усереднених значень температури, вологості та концентрацій забруднювача групи однотипних приміщень деякої палуби, то їх доцільно апроксимувати результативними ємностями;

3) деталізація моделі палуби й моделювання окремих приміщень як підсистем в разі потреби у дослідженні динаміки параметрів повітря в цих приміщеннях;

4) моделювання теплового обміну приміщень кожної палуби з навколишнім середовищем;

5) моделювання потоку тепла та водяної пари від мешканців;

6) синтез моделі установки кондиціювання повітря з урахуванням її потужності та масової витрати повітря;

7) первинна перевірка адекватності отриманої моделі шляхом порівняння розрахунків масової витрати, температури та відносної вологості повітря з проектними значеннями.

Запропонована методика була застосована для моделювання мікроклімату надбудови газовозу LPG/C “Epic Corsica” у середовищі Matlab-Simulink з використанням проектних параметрів системи кондиціювання та вентиляції (табл. 1). Надбудова досліджуваного судна (рис. 1) складається з трьох палуб та ходового містка. Кожна палуба містить приміщення двох типів – закритого (AIR CON у табл. 1) та відкритого (SPOT у табл. 1). Повітря з приміщень закритого типу повертається у систему кондиціювання. Повітря з приміщень відкритого типу вентиляється назовні. Ходовий місток містить одне приміщення відкритого типу. Літній тепловий потік через зовнішні огороження приміщень наведено для зовнішнього повітря з температурою 35°C та відотною вологістю 70% й внутрішнього повітря з температурою 27°C та відотною вологістю 50%. Зимовий тепловий потік наведено для зовнішнього повітря з температурою -20°C та відотною вологістю 30% та внутрішнього повітря з температурою 20°C та відотною вологістю 50%.

При синтезі моделі кожної з палуб (рис. 2) усі приміщення закритого типу представлені результативною ємністю «Каюти», а всі приміщення відкритого типу (душові та санвузли) – результативною ємністю «Санвузли». Об'єми результативних ємностей дорівнюють сумі об'ємів приміщень відповідного типу згідно з таблицею 1.

Таблиця 1. Параметри приміщень надбудови газозову LPG/C “Epic Corsica”

DK	SPACE		ROOM VOL.		VENTILATION		MEN	SUMMER		WINTER		FRESH AIR		FINAL AIR VOL.		AIR DIFFUSER			
	No.	ROOM NAME	AIR CON. m³	SPOT m³	AIR T/H	AIR VOLUME m³/H		HEAT GAIN [W]		AIR VOL. m³/H	HEAT LOSS [W]	AIR VOL. m³/H	NECESS. m³/H	ACTUAL m³/H	m³/H	T/H	TYPE	SIZE	No.
								SENSIBLE	LATENT										
NAV.	1	WHEEL HOUSE		91.5	10	915.0						274.5	274.5	915	10	PL	5	10	
DK TOTAL			0.0	91.5		915.0						274.5	274.5	915	10.0				
CAPT.	2	HOSPITAL	17.5		6	105.0	1	683.4	73.3	203.6	556.7	100.4	61.1	61.1	204	11.6	PL	6	2
CAPT.	3	2/OFF	14.3		6	85.8	1	630.9	73.3	188.0	684.3	120.9	56.4	56.4	188	13.1	PL	6	2
CAPT.	4	CAPT. BED RM.	10.1		6	60.6	1	289.4	73.3	86.2	292.8	51.7	25.9	25.9	86	8.5	PL	5	1
CAPT.	5	CAPT. RM.	19.1		6	114.6	1	545.4	73.3	162.5	692.6	122.3	48.8	48.8	163	8.5	PL	5	2
CAPT.	6	PILOT	13.0		6	78.0	1	588.3	73.3	175.3	638.6	112.8	52.6	52.6	175	13.5	PL	5	2
CAPT.	7	2/OFF	13.0		6	78.0	1	531.7	73.3	158.4	494.3	87.3	47.5	47.5	158	12.2	PL	5	2
CAPT.	8	HOSP. LAV.		8.1	5	40.5							12.2	12.2	41	5.0	PL	3	1
CAPT.	9	CAPT. LAV.		8.6	5	43.0							12.9	12.9	43	5.0	PL	3	1
CAPT.	10	SHOWER		6.4	5	32.0							9.6	9.6	32	5.0	PL	3	1
CAPT.	11	W C1		6.2	0	0.0					143.4	25.4	0.0	7.6	25	4.1	PL	3	5
DK TOTAL			87.0	29.3		637.5		3269.1	440.0	974.0	3514.7	620.8	327.0	334.6	1115				
BOAT	12	SPARE	11.8		6	70.8	1	533.9	73.3	159.1	597.0	105.4	25.2	47.7	159	13.5	PL	5	2
BOAT	13	Q/M (1)	10.0		6	60.0	1	310.5	73.3	92.5	328.7	58.1	25.2	27.8	93	9.3	PL	6	1
BOAT	14	Q/M (2)	9.6		6	57.6	1	441.6	73.3	131.6	565.2	99.8	25.2	39.5	132	13.7	PL	5	1
BOAT	15	BOSN	11.3		6	67.8	1	362.8	73.3	108.1	464.0	82.0	25.2	32.4	108	9.5	PL	4	5
BOAT	16	C/ENG	13.2		6	79.2	1	315.3	73.3	93.9	318.6	58.3	25.2	28.2	94	7.1	PL	4	2
BOAT	17	ENG 1 OIL	10.2		6	61.2	1	350.5	73.3	104.3	450.3	79.5	25.2	31.3	104	10.2	PL	4	2
BOAT	18	2/ENG	13.0		6	78.0	1	372.6	73.3	111.0	486.6	82.4	25.2	31.3	111	8.5	PL	4	2
BOAT	19	3/ENG	13.0		6	78.0	1	304.3	73.3	90.7	272.7	48.2	25.2	27.2	91	7.0	PL	4	2
BOAT	20	Q/M (3)	12.0		6	72.0	1	446.1	73.3	132.9	472.3	83.4	25.2	39.9	133	11.1	PL	4	5
BOAT	21	C/ENG LAV		11.1	5	55.5							16.7	16.7	56	5.0	PL	4	1
BOAT	22	SHOWER		6.4	5	32.0							9.6	9.6	32	5.0	PL	3	5
BOAT	23	W C2		10.6	0	0.0					370.0	65.6	0.0	19.7	66	6.2	PL	4	5
DK TOTAL			104.1	28.1		712.1		3437.4	660.0	1024.1	4305.4	760.7	253.1	353.3	1178				
POOP	24	CREW S MESS	33.5		8	268.0	7	1847.2	512.9	950.4	2122.8	374.9	126.0	165.1	550	16.4	PL	7	4
POOP	25	SAIL (A)	10.0		6	60.0	1	571.5	73.3	170.3	789.9	138.5	25.2	51.1	170	17.0	PL	5	2
POOP	26	1/ENG	5.7		6	34.2	1	923.3	73.3	275.1	1299.2	229.5	25.2	82.5	275	17.5	PL	5	3
POOP	27	SAIL (B)	10.4		6	62.4	1	473.6	73.3	141.1	633.4	111.9	25.2	42.3	141	13.6	PL	5	2
POOP	28	OFFICE	13.6		5	81.6	1	604.4	73.3	180.1	840.7	148.5	25.2	54.0	180	13.2	PL	5	2
POOP	29	C/OFF	16.3		6	97.8	1	948.7	73.3	282.7	1332.5	235.4	25.2	84.8	283	17.3	PL	5	3
POOP	30	SAIL (C)	10.4		6	62.4	1	597.7	73.3	178.1	834.6	147.4	25.2	53.4	178	17.1	PL	5	2
POOP	31	C/STEW	10.2		6	61.2	1	514.5	73.3	153.3	721.3	127.4	25.2	46.0	153	15.0	PL	5	2
POOP	32	OFFICER MESS & SALOON	38.6		8	308.8	8	1378.3	586.2	410.7	1065.7	188.2	136.0	136.0	453	11.7	PL	6	4
POOP	33	GALLEY		31.5	10	315.0							94.5	94.5	315	10.0	PL	6	4
POOP	34	SHOWER		7.9	5	39.5							11.9	11.9	40	5.0	PL	4	1
POOP	35	W C3		10.3	0	0.0					223.9	39.7	11.9	11.9	40	3.9	PL	3	5
DK TOTAL			158.7	49.7		1450.9		7859.3	1612.4	2341.8	9864.0	1742.4	556.7	833.5	2779

Рис. 1. Модель надбудови газозову LPG/C “Epic Corsica”

Для моделювання динаміки параметрів повітря та вмісту забруднювача в окремому приміщенні потрібна подальша деталізація моделі та представлення досліджуваної каюти як підсистеми, пов'язаної тепло-та масообміном з іншими приміщеннями (рис. 3).

На тепловий та масовий баланс приміщення впливають обмін з навколишнім середовищем

та теплота й волога, що виділяються організмом людини (рис. 4).

Тепловий потік Q_d та масова витрата водяної пари людини G_d залежать від її активності та вдягненості. Для цілей даної роботи ці параметри прийняті постійними: $G_d=0.02$ г/с, $Q_d=80$ Вт, що відповідає швидкості метаболізму 1 МЕТ легко вдягненої людини, що сидить.

Згідно з конструкцією судна модель ходового містка (рис. 5) не має повітропроводу для повернення повітря у систему кондиціонування. Обмін повітря здійснюється шляхом надходження припливного повітря через дифузори та випуск його в атмосферу через вентиляційний отвір.

Модель установки кондиціонування повітря (рис. 6) синтезована згідно з документацією суднової СКП. Вона складається з камери змішування, вентилятора та випарника. Камера змішування має вхідні отвори для зовнішнього та рециркуляційного повітря, а її вихід з'єднаний з випарником. Після випарника повітря потрапляє у повітряний простір корпусу кондиціонера, в якому знаходиться вентилятор з ремінним приводом та електродвигуном потужністю 5.5 кВт. Повітряний простір відокремлений горизонтальною перегородкою від двох компресорів потужністю 7.5 кВт, конденсатора та з'єднувальних трубопроводів. Частка теплових втрат наведеного вище обладнання потрапляє до повітряного простору. Ці витрати представлені сумарним тепловим потоком у 3300 Вт, який призводить до зростання температури припливного повітря на 2°C.

Перевірка адекватності моделі здійснювалась у два етапи. На першому етапі проектні масові витрати повітря кожної з палуб та досліджуваної каюти були порівняні з розрахованими (табл. 2). Отримані відхилення в межах 1% свідчать про коректне моделювання розподілення припливного повітря. На другому етапі перевірки були побудовані криві розгону температури (рис. 7) та відносної вологості (рис. 8) внутрішнього повітря приміщень надбудови при ступеневому збільшенні об'ємної витрати охолоджувального повітря. Як початкові умови були використані температура 35°C й вологість 70% для зовнішнього та внутрішнього повітря приміщень надбудови при нульовій початковій об'ємній витраті охолоджу-

вального повітря. Такі ж умови були використані під час розрахунку системи кондиціонування на етапі проектування. Такі умови відповідають перебуванню судна у тропічних широтах протягом тривалого часу із зупиненим кондиціонуванням повітря надбудови. Ступеневим впливом прийнято миттєве збільшення об'ємної витрати охолоджувального повітря з нуля до проектного значення 1.663 м³/с. У сталому режимі температура припливного повітря на виході з випарника досягає 15°C, а на виході з вентилятора – 17°C, що відповідає проектним даним суднового кондиціонера. Тепловий потік від навколишнього середовища до приміщень надбудови вважався постійним та рівним проектному згідно з таблицею 1.

Рис. 4. Моделі тепло- та масообміну приміщення: а) з навколишнім середовищем; б) з мешканцями

Рис. 5. Модель ходового містка

Таблиця 2. Результати моделювання повітрообміну моделі порівняно з проектом

Ємність	Проектна об'ємна витрата повітря, м³/г	Розрахована об'ємна витрата повітря, м³/г	Відхилення, %
Ходовий Місток	915	917.64	0.29
Капітанська палуба	1115	1117.08	0.19
Шлюпочна палуба	1178	1180.44	0.21
Кормова палуба	2779	2771.64	-0.26
Досліджувана каюта	150	148.68	-0.88

Рис. 6. Модель установки кондиціонування повітря

Рис. 7. Криві розгону температури повітря трьох палуб, ходового містка та контрольованої каюти

У сталому режимі середня температура приміщень надбудови досягає 26.4°C, що на 0.6°C менше, ніж проєктні 27°C, а абсолютні значення відхилень температур окремих палуб та досліджуваної каюти не перевищують 1.6°C від проєктної.

Середня відносна вологість повітря надбудови у сталому режимі досягає 51.8% при проєктній – 50%, а абсолютні значення відхилень відносної вологості окремих палуб від проєктних не перевищують 3.8%. Відносна вологість повітря

досліджуваної каюти у сталому режимі на 5.8% більша, ніж проєктна.

Отримані результати моделювання свідчать про задовільну точність моделі та її адекватність.

Одним з перспективних застосувань синтезованої моделі є дослідження динаміки газового складу повітря у надбудові. Досліджуване судно перевозить пропілен, гранична безпечна концентрація (TLV) якого становить 500 ppm. Згідно з Міжнародним кодексом з будівництва та обладнання суден, що перевозять скраплені

гази наливом (IGC Code), стаціонарна газовимірювальна система у надбудові налаштовується на спрацювання при досягненні концентрації 30% від нижньої межі вибуховості, яка для пропілену дорівнює 2% (або 20000 ppm). Таким чином, у разі аварійного витоку вантажу газовимірювальна система спрацює лише при концентрації забруднювача 6000 ppm, яка перевищує безпечну у 12 разів.

На рис. 9 представлено криву розгону вмісту пропілену у досліджуваній каюті при ступеневому збільшенні концентрації забруднювача у зовнішньому повітрі до 3000 ppm у момент часу 1500 секунд з початку відліку. Крива розгону була розрахована для об'ємної частки зовнішнього повітря 30% при повністю відкритих дифузорах припливного повітря в усіх приміщеннях та повністю відкритих вентиля-

Рис. 8. Криві розгону відносної вологості повітря трьох палуб, ходового містка та контрольованої каюти

Рис. 9. Крива розгону концентрації пропілену у досліджуваному приміщенні при ступеневому збільшенні концентрації забруднювача у зовнішньому повітрі

ційних отворах у приміщеннях відкритого типу. Такі параметри моделі відповідають нормальній експлуатації аварійній ситуації, коли незначне пошкодження вантажної системи танкера спричиняє несподіваний викид вантажу малої інтенсивності.

За результатами моделювання встановлено, що концентрація забруднювача у повітрі досліджуваної каюти досягає граничної безпечної концентрації за 3 хвилини. Динаміка концентрації забруднювача дозволяє використовувати двопозиційну систему короткострокової герметизації надбудови для захисту екіпажу від впливу випарів вантажу.

РЕЗУЛЬТАТИ

У ході дослідження здійснено структурну ідентифікацію об'єкта керування. Проаналізовано наявні математичні моделі, підходи й системи моделювання мікроклімату. Запропоновано методику моделювання на базі підсистеми вологого повітря програмного пакету Matlab-Simulink з використанням проєктної документації центральної системи кондиціювання та креслень надбудови. Методику застосовано до синтезу моделі мікроклімату надбудови судна-газовозу. У результаті моделювання були розраховані криві розгону середньої температури та середньої вологості повітря приміщень надбудови судна, показана адекватність отриманої моделі.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Завдяки своїй універсальності методика дозволяє створювати моделі мікроклімату надбудови будь-яких суден та досліджувати ефективність забезпечення колективної безпеки й комфортності екіпажу, роз-

робляти системи герметизації приміщень й фільтрації внутрішнього повітря й відповідні системи автоматичного керування.

Моделі, синтезовані з використанням запропонованої методики, потребують підтвердження адекватності шляхом проведення натурного експерименту на модельованому судні з вимірюванням динаміки температури, вологості повітря приміщень.

Подальше вдосконалення методики передбачає врахування теплоємності та теплопередачі огорожувальних поверхонь приміщень, що дозволить моделювати процеси тепло- та масопередачі у повітрі суднової надбудови у всьому діапазоні параметрів зовнішнього повітря та на всіх режимах роботи суднової СКП.

ВИСНОВКИ

Результатом дослідження є заснована на судновій проєктній документації методика моделювання надбудови судна як багатомісного об'єкта керування каналами температури, вологості та газового складу повітря приміщень.

Була проведена апробація методики та синтезована модель надбудови судна-газовозу, яка надає можливість досліджувати динаміку газового складу у надбудові й розробляти системи колективної безпеки для захисту екіпажів від витоку випарів вантажу та інших забруднювачів.

Отримані результати моделювання дозволяють виявити характеристики досліджуваної системи, які не були враховані при проєктуванні та побудові судна, але є важливими для забезпечення безпеки екіпажу згідно з новітніми дослідженнями та нормами.

REFERENCES

- [1] Sun-Sook Kim, Yoon-Kyung Kang, Geun-Young Doe, Yun-Gyu Lee (2008) Comparison of indoor air quality on a passenger ship and a chemical ship. Korea Maritime University. Retrived from: <https://www.isiaq.org/docs/papers/490.pdf>
- [2] A.D. Webster G.L. Reynolds (2005) Indoor Air Quality on Passenger Ships Hdb Env Chem Vol. 4, Part H (2005): P. 335–349. Retrived from: <https://doi.org/10.1007/b107251>
- [3] Kennedy, RD. (2019) An investigation of air pollution on the decks of 4 cruise ships. A report for Stand.earth, January 24.
- [4] Sun Sook Kim a, Yun Gyu Lee (2010) Field measurements of indoor air pollutant concentrations on two new ships.
- [5] Sarka Langer, Cecilia Österman, Bo Strandberg, Jana Moldanová, Håkan Fridén (2020) Impacts of fuel quality on indoor environment onboard a ship: From policy to practice, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 83, Retrived from: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102352>.
- [6] Golikov, V. A. (1999) Nauchnye osnovy upravleniya mikroklimatom sudna. Odessa: OGMA.
- [7] Khodarina K. V. (2013) Obespechenie komfortnykh usloviy mikroklimata obitaemykh pomeshcheniy morskikh sudov: dis. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05.22.20 "Ekspluatatsiya i remont sredstv transporta"
- [8] Ryzhov, A. & Ouerdane, Henni & Gryazina, Elena & Bisch, Aldo & Turitsyn, K.. (2018). Model predictive control of indoor microclimate: Existing building stock comfort improvement. Energy Conversion and Management. Retrived from: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.10.046>.
- [9] Schijndel, Jos. (2007). Integrated heat air and moisture modeling and simulation. Journal of The Acoustical Society of America - J ACOUST SOC AMER.
- [10] Holikov V. A., Bilyi V. A. (2021) Modeliuvannia teplo-masooobminnykh protsesiv u povitri sudnovykh prymishchen. MPP&O-2021 : tezy dop. III Mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Odesa, 29—30 kvit. 2021 r. / Odeskyyi natsionalnyi morskyyi universytet. Odesa. P. 297—302. Retrived from: <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19286.40006>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Sun-Sook Kim, Yoon-Kyung Kang, Geun-Young Doe, Yun-Gyu Lee (2008) Comparison of indoor air quality on a passenger ship and a chemical ship. Korea Maritime University. URL: <https://www.isiaq.org/docs/papers/490.pdf>.

- [2] A.D. Webster G.L. Reynolds (2005) Indoor Air Quality on Passenger Ships Hdb Env Chem Vol. 4, Part H (2005): 335–349. DOI 10.1007/b107251.
- [3] Kennedy, RD. (2019) An investigation of air pollution on the decks of 4 cruise ships. A report for Stand.earth, January 24, 2019.
- [4] Sun Sook Kim a, Yun Gyu Lee (2010) Field measurements of indoor air pollutant concentrations on two new ships.
- [5] Sarka Langer, Cecilia Österman, Bo Strandberg, Jana Moldanová, Håkan Fridén (2020) Impacts of fuel quality on indoor environment onboard a ship: From policy to practice, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 83, 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102352>.
- [6] Голиков В.А. (1999) Научные основы управления микроклиматом судна. Одесса : ОГМА.
- [7] Ходарина К.В. (2013) Обеспечение комфортных условий микроклимата обитаемых помещений морских судов : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20, «Эксплуатация и ремонт средств транспорта».
- [8] Ryzhov A. & Ouerdane Henni & Gryazina Elena & Bischi, Aldo & Turitsyn K. (2018). Model predictive control of indoor microclimate: Existing building stock comfort improvement. Energy Conversion and Management. 179. 10.1016/j.enconman.2018.10.046.
- [9] Schijndel, Jos. (2007). Integrated heat air and moisture modeling and simulation. Journal of The Acoustical Society of America – J ACOUST SOC AMER.
- [10] Голиков В. А., Білий В. А. (2021) Моделювання тепло-масообмінних процесів у повітрі суднових приміщень. MPP&O-2021 : тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 29—30 квіт. 2021 р. / Одеський національний морський університет. Одеса. С. 297—302. URL: <https://http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19286.40006>.

© Білий В. А., Голиков В. А.

Дата надходження статті до редакції: 08.06.2021

Дата затвердження статті до друку: 29.06.2021