

УДК 532+697.94

М.Ф. Латій

**ЕКОНОМІЧНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ
ПРИ НЕПРЯМОМУ ВИПАРІ ВОДИ**

У роботі приводяться результати теоретичних і експериментальних досліджень в області непрямого випарного охолодження повітря. Вода використовується в якості основного робочого агента.

Ключові слова: охолодження, повітря, випар, вода.

В работе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований в области непрямого косвенного испарительного охлаждения воздуха. Вода используется в качестве основного рабочего агента.

Ключевые слова: охлаждение, воздух, испарение, вода.

Results over of theoretical and experimental researches are in-process brought in area of the indirect indirect evaporated cooling of air. Water is used as a basic worker of agent.

Keywords: cooling, air, evaporation, water.

Актуальність. Мікроклімат приміщень – один з найважливіших фізичних факторів від якого багато в чому залежать здоров'я й працездатність членів екіпажів. Оптимальний рівень фізіологічних функцій організму забезпечується при створенні теплового комфорту, коли суб'єктивні відчуття людини нормальні [1]. Аналіз існуючих способів виробництва холоду для комфортного кондиціонування повітря на судах [2-5] дозволяє виділити в якості перспективної екологічно чистої та економічної технології – непряме випарне охолодження повітря, коли як робочий агент використовується вода.

Охолоджувачі повітря випарного типу можуть використовуватися практично скрізь в побуті і промисловості, але особливо ефективні для напіввідкритих і відкритих приміщень. У цій області компресійні кондиціонери практично не застосовуються (витрати на їх експлуатацію невіправдано великі).

Мета роботи. Дослідження технічних характеристик дешевих, екологічно безпечних охолоджувачів повітря непрямого випарного типу з малими витратами електроенергії при виробництві і в експлуатації.

Дослідження. Основним значущим параметром при виборі конструкції охолоджувача є абсолютна вогкість повітря, значення якої залежить від кліматичної зони і періоду року. Найважчими для охолоджувачів повітря непрямого випарного типу є умови в низьких широтах. Наприк-

лад в зоні Персидської затоки і Червоного моря в літні місяці абсолютна вологість повітря d може досягати від 0,02 кг. Вологи / кг сухого повітря до 0,022 кг. Вологи / кг сухого повітря при температурі повітря по сухому термометру до 55 °С.

Попередні дослідження показали, що при значеннях абсолютної вологості атмосферного повітря d більш 0,018 кг/кг і температурі t більш 40 °С має сенс використовувати схему протитечії сухого і вологого повітря в каналах охолоджувача повітря. Використовування як робочого агента морської води, що витрачається, вимагає завдання витрати морської води в три-чотири рази більшого, ніж витрата води, що випаровується.

Оскільки у охолоджувачах повітря випарного типу теоретично неможливо охолодити повітря нижче за точку роси, був проведений ряд досліджень для встановлення технічно досяжних меж охолодження повітря.

Як показали розрахунки і експерименти, практично досяжна межа охолодження повітря (t_n) в охолоджувачі пов'язана з абсолютною вологістю повітря (d) залежністю, приведеною на рис.1.

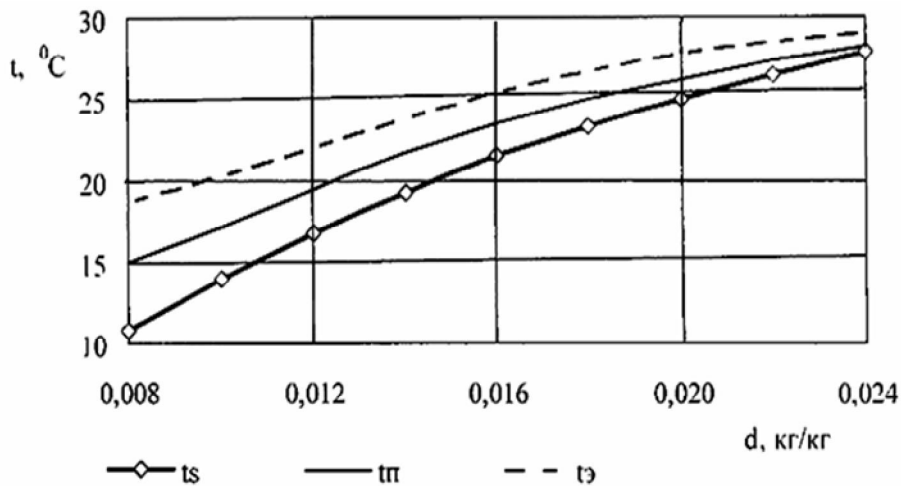


Рис. 1. Залежність технічно досяжної (t_n) та економічно обґрунтованої (t_s) температури охолодженого повітря і температури точки роси (t_s) від абсолютної вологості атмосферного повітря d

При дослідженнях температура атмосферного повітря приймалася рівною 45 °С. Для виробництва 1 м³/год. охолодженого повітря використовувалося 0,3 м² поверхні тепло-масообміну. Подальше збільшення питомої поверхні обміну не приводило до зниження тп.

Проводилися дослідження комбінованої схеми течій. У якості об'єкту розглядався охолоджувач повітря для салону пересувної лабораторії геологічної розвідки. Охолоджувач повітря призначався для забезпечення комфортних умов роботи співробітникам геологічних партій і сейсмологам. Місце установки охолоджувача – верхня частина кузова автомобіля-фургона об'ємом 14-18 м³.

Загальний вид охолоджувача представлений на рис.2.

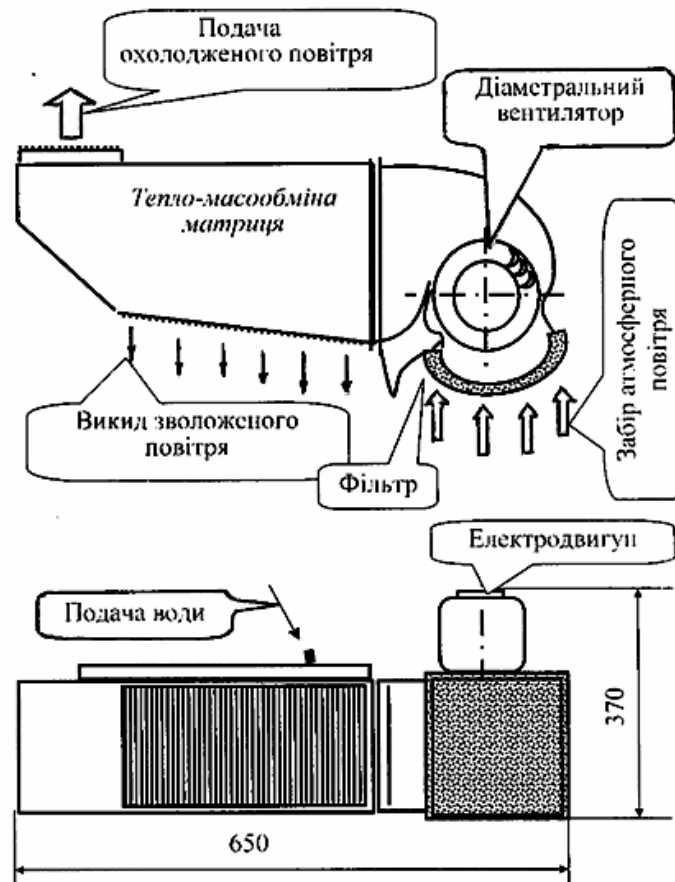


Рис. 2. Охолоджувач повітря для пересувної лабораторії

Охолоджувач повітря розраховувався на умови експлуатації в південних регіонах, де абсолютна вологість повітря може змінюватися в діапазоні від 6 г вологи / кг сух. повітря до 16 г вологи / кг сух. повітря. Діапазон температур від 30 до 45 °С.

Таблиця 1

Проектні характеристики охолоджувача

Показник	Фільтр	
	звичний	посилений
Продуктивність V, м ³ /год.	90-100	80-90
Споживана потужність W, Вт.	30-40	50-60

Спроектовано і виготовлено робочий макет охолоджувача. У якості поверхонь тепло-масообміну використовувалися пластини з міпласту товщиною 0,8 мм. Дозування подачі води здійснювалося за допомогою гніту.

Випробування проводилися в лабораторії кафедри «Технічна кібернетика» ОНМУ.

Таблиця 2

Вимірювання, проведені в лабораторії ОНМУ

Температура атмосферного повітря, °С	36	34	30	26	45	40	37	34	30	26
Вогкість атмосферного повітря, г/кг	11,7	11,7	12	11,9	12	11,8	11,6	11,7	12	11,7
Температура охолодженого повітря, °С	19,2	18,8	18,6	18,5	23,6	22,7	21,5	20,6	19,7	18,7
Подача охолодженого повітря, м ³ /год.	45	45	45	45	72	72	72	72	72	72
Споживана електрична потужність, Вт.	16	16	16	16	42	42	42	42	42	42

Після безперервної роботи протягом двох з половиною місяців макет був розібраний і проведена дефектація поверхонь обміну. Оскільки як агент, що витрачається, використовувалася слабо мінералізована вода, спостерігалось засолення пір міпласту, що знижувало ефективність роботи охолоджувача.

Тому ухвалене рішення використовувати як поверхні обміну зварених: поліетиленової плівки і флізеліна Bezci 207 з клейким шаром на основі поліетілентерефталата, що було реалізовано в установці для Казахстану.

Таблиця 3

Вимірювання, проведені в польових умовах (Казахстан)

Температура атмосферного повітря, °С	40	40	42	41	43	39	41	42	40	38
Вогкість атмосферного повітря, г/кг	9,5	12	10	12	8,5	7,5	10	10	14	10
Температура охолодженого повітря, °С	21,2	22,5	26	25	21,8	18,8	22,5	24,8	23,5	20,4
Подача охолодженого повітря, м ³ /год.	79	81	110	115	92	90	85	110	110	72
Споживана електрична потужність, Вт.	35	36	47	45	36	32	37	47	45	26

Окрім того було розроблено охолоджувач повітря (з подачею охолодженого повітря $V_{ov} = 600 \text{ м}^3/\text{г}$) для роботи при параметрах зовнішнього повітря:

- абсолютна вогкість d змінювалась від 8 г вологи /кг сухого повітря до 13 г вологи /кг сухого повітря;
- температура t від 25 до 40 °С.

Випробування проводилися в лабораторії кафедри «Технічна кібернетика» ОНМУ. При експерименті імітувалися силові впливи на зразок, що відповідало жорстким умовам експлуатації.

Для забезпечення необхідного стану атмосферного повітря, що подається на вхід охолоджувача, використовувалася камера об'ємом $V_k = 32 \text{ м}^3$.

Камера обладнана незалежними вентиляторами, підігрівачами, осушувачами і зволожувачами повітря. Подача повітря в камеру регулювалася так, щоб надмірний тиск в камері не перевищував $\Delta P = 5 \text{ Па}$.

На початку кожного циклу випробувань охолоджувач заповнювався витратною водою з водопровідної мережі. Значення параметрів повітря на вході і виході охолоджувача вимірювалися для кожного варіанту завдання параметрів зовнішнього повітря не менше 7 разів і усереднювалися. Вимірювання проводилися після виходу охолоджувача на стаціонарний режим роботи, але не раніше ніж після напрацювання 15 хвилин на кожному режимі.

Параметри повітря на вході в охолоджувач вимірювалися в 5 точках рівномірно розташованих за площею перетину входу, параметри повітря на виході з охолоджувача вимірювалися в 9 точках рівномірно розташованих за площею перетину виходу. Результати вимірювань усереднювалися. Швидкість повітря на вході і виході охолоджувача вимірювалася на відстані не менше 50 мм від перетину входу (виходу).

В процесі проведення експерименту відхилення температури повітря, що подається в охолоджувач ($t_{\text{атм}}$), від розрахункового не перевищувало $0,2^{\circ}\text{C}$, відхилення значення абсолютної вологості (d) не перевищувало $0,8$ г/кг.

Деякі результати експерименту в порівнянні з розрахунком наведено у таблиці 4.

Таблиця 4

Порівняння результатів розрахунку та експерименту

Температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$	Абсолютна вологість зовнішнього повітря, г вологи / кг сухого повітря							
	8		10		12		14	
	розн.	експ.	розн.	експ.	розн.	експ.	розн.	експ.
24	14,1	14,6	16,3	16,7	18,1	18,6	20,1	20,2
26	15,1	15,5	17,1	17,4	18,8	18,9	20,7	20,8
28	15,9	16,2	17,9	17,9	19,5	19,7	21,3	21,1
30	16,8	16,9	18,6	18,7	20	20,3	21,8	21,5
32	17,5	17,6	19,2	19,5	20,7	20,4	22,3	22,1
34	18,1	18	19,8	19,7	21,2	21,1	22,7	22,5
36	18,7	18,7	20,3	20,1	21,7	21,5	23,1	22,8
38	19,2	19,1	20,9	20,5	22,1	22	23,5	23,2
40	19,7	19,4	21,3	21	22,5	22,1	23,8	23,4
42	20,2	19,5	21,8	21,3	22,8	22,4	24,1	23,5

Після експлуатації протягом 138 годин (2 місяці) макет був розібраний і проведений аналіз поверхонь обміну. На поверхні флізеліну (у нижній частині зони випаровування води) з'явилася малопомітна сітка відкладень солей, яка практично не впливала на теплообмін. Спостерігалася неістотна деформація профілю каналу.

Повітроохолоджувачі випарного типу можуть використовуватися практично скрізь у побуті й промисловості, але особливо ефективні для напіввідчинених і відкритих приміщень, У цій області компресійні кондиціонери практично не застосовуються (витрати на їхню експлуатацію невиправдано високі).

Висновки. Повітроохолоджувачі побічно-випарного типу можуть використовуватися практично скрізь у побуті й промисловості, але особливо ефективні для напіввідчинених і відкритих приміщень. У напіввідчинених і відкритих приміщеннях компресійні кондиціонери практично не застосовуються, так як витрати на їхню експлуатацію невиправдано високі. Охолоджувачі розглянутого типу можуть знайти застосування в місцях розташованих на березі моря або солоного озера при відсутності водопроводу й коли підвіз прісної води утруднений. Наприклад: окремі малі населені пункти, військові підрозділи й групи працівників, вилучені від центрів постачання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ломов О.П. *Гигиенические основы обитаемости кораблей и судов.* – Л.: Судостроение, 1989. – 160 с.
2. Merkt R.V., Chelabchi V.N. *Ecologically clean cool-production on ships. Proceedings of the 6-th Congress of the IMAM.* – V.3. – Varna, Bulgaria. – 1993. – P.173-179.
3. Меркт Р.В., Челабчи В.В., Челабчи В.Н. *Оптимизация воздухоохладителей испарительного типа // Промышленная теплотехника.* Т. 25. – № 4. – 2003. – С. 167-168.
4. Латий Н.Ф., Меркт Р.В., Челабчи В.М. *Використання непрямого випарного охолодження повітря // Матеріали VIII міжнародної НПК «Наука і освіта '2005».* – Т. 61. Техніка. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – С. 40-42.
5. Латий Н.Ф., Челабчи В.Н. *Исследования режимов работы охладителя воздуха непрямого испарительного типа // Матеріали міжнародної НПК «Наукові дослідження – теорія та експеримент '2005».* – Т. 9. – Полтава: ПНТУ, 2005. – С. 30-32.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2014

Рецензент – доктор технічних наук, професор кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація флоту» Одеського національного морського університету **В.Г. Івановський**

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація флоту» Одеського національного морського університету **О.Г. Слинько**