

УДК 629.12.06:628.83

**С.Н. Ефремов, доцент, канд. техн. наук,****Г.В. Горобец, ст. преподаватель,****А.Б. Гончар, магистрант***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ  
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА МОРСКИХ СУДАХ**

*Рассмотрена взаимосвязь параметров внешней среды и микроклимата жилых помещений судов в условиях морской эксплуатации для выбора условий автоматического управления системой кондиционирования воздуха (СКВ) в летний период года.*

**Ключевые слова:** кондиционирование воздуха, температура, относительная влажность, район плавания, тепловой процесс.

Морские суда эксплуатируются практически во всех климатических зонах Мирового океана. Состояние параметров наружного воздуха и забортной воды можно определить следующими климатическими районами плавания: экстремальный тропический, тропический, субтропический, умеренный южный и полярный.

Целью исследований является анализ тепловлажностного состояния воздушной среды районов плавания судов, а также комфортные параметры воздуха жилых помещений для оптимальной эксплуатации системы кондиционирования воздуха.

На основании метеорологических исследований различных акваторий Мирового океана [1] для вышеперечисленных районов плавания судов рекомендованы параметры наружного воздуха, сведенные в таблицу 1.

Таблица 1 – Состояние наружного воздуха в районах плавания

| Районы плавания           | Летний режим |              |                |            | Зимний режим,<br>$t_n$ , °C |
|---------------------------|--------------|--------------|----------------|------------|-----------------------------|
|                           | $t_n$ , °C   | $\phi_n$ , % | $I_n$ , кДж/кг | $t_w$ , °C |                             |
| Экстремальный тропический | 32,5         | 80           | 96,2           | 32...34    | -                           |
| Тропический               | 32           | 75           | 90             | 28...30    | 10                          |
| Субтропический            | 31,5         | 70           | 83,7           | 24...27    | 0                           |
| Южный умеренный           | 30,5         | 65           | 75,3           | 20...23    | -10...-20                   |
| Полярный                  | -            | -            | -              | 0...4      | -30                         |

Данные в таблице 1 характеризуют среднегодовые максимальные показатели климатических районов плавания морских судов. Хотя в некоторых районах с экстремальными условиями они имеют различия. Например, в Персидском заливе, в районе Абадана показатели наружного воздуха колеблются в следующих пределах:  $t_n = 30...50$  °C;  $\phi_n = 20...50$  %;  $I_n = 79,5...85,8$  кДж/кг. Энтальпия наружного воздуха у северо-восточного побережья Южной Америки составляет 83,7 кДж/кг, а в так называемой «черной дыре» Калькутты ее рекордное значение – 121,4 кДж/кг.

Показатели таблицы 1 рассматриваются как исходные для расчета систем кондиционирования воздуха морских судов. Нагрузка на холодильную установку СКВ при  $I_n = 75,3$  кДж/кг по сравнению с нагрузкой при  $I_n = 96,2$  кДж/кг примерно на 43 % меньше. Поэтому не экономично проектировать СКВ со значительными расходами для самых редких погодных условий. Разумно будет считать, что в редких экстремальных случаях, когда  $I_n$  превышает 100 кДж/кг, следует принимать во внимание только температуру, пренебрегая относительной влажностью.

На рисунке 1 представлено среднегодовое суточное распределение температуры и относительной влажности наружного воздуха в акватории Сингапурского пролива. Исследования распределения показали, что в ночное время  $\phi_n$  растет, а  $t_n$  падает, в дневное – наоборот. Максимальная энтальпия состояния наружного воздуха днем составляет 72 кДж/кг (примерно в 13.00), а в ночное время – 69 кДж/кг (около 6.00). В 9.00 и 19.00 имеет место среднее состояние наружного воздуха дневного и ночного времени суток, энтальпия которого составляет 73 кДж/кг. Максимальные значения температуры и относительной влажности возникают не одновременно.

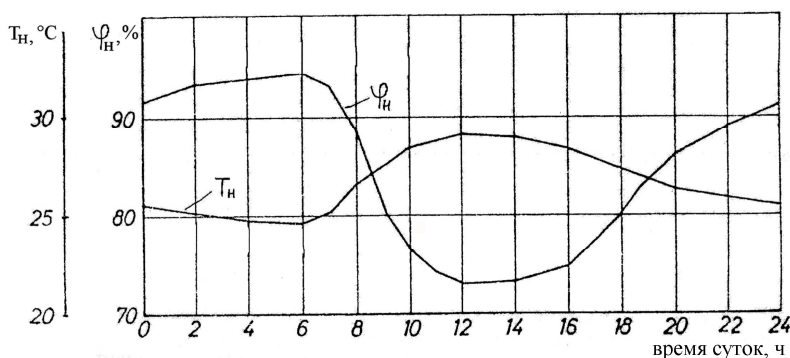


Рисунок 1 – Среднегодовое суточное распределение температуры и относительной влажности наружного воздуха в акватории Сингапурского пролива

На рисунке 2 этот процесс отражен в I-d диаграмме влажного воздуха. Построенная кривая А-Б суточного состояния наружного воздуха показывает тенденцию изменения параметров. Максимальная энтальпия наружного воздуха возникает в диапазоне 70...80 % относительной влажности, что фактически охватывает неблагоприятные условия.

#### Состояние параметров воздуха в помещениях морских судов

При анализе тепловлажностных процессов воздуха в жилых помещениях морских судов принимается допущение, что люди, пребывающие в помещениях, не выполняют никакой работы, то есть отдыхают или спят. Это допущение оправдано для пассажирских судов с большим числом спальных, жилых помещений и салонов. На транспортных судах такое допущение не оправдано.

Если принимать во внимание, что порог потения отдыхающих людей приблизительно составляет 30 °C, то температура в помещении может колебаться в пределах 26...29 °C. При этом относительная влажность составит 50...75 %. Таким образом, состояние параметров тепловлажностного режима судовых помещений имеет верхнюю границу  $t_n = 29$  °C при  $\phi_n = 50...70$  % и нижнюю –  $t_n = 26$  °C при  $\phi_n = 50...75$  %.

Практика США [2] принимает параметры воздуха в помещениях пассажирских судов в летний период 21,7...23,3°ЭТ (эффективных температур) и 24,4...25,6°ЭТ для транспортных судов. В этом диапазоне ЭТ наблюдаются следующие параметры воздуха: в каютах пассажирских судов летом  $t_{пом} = 24,4...26,7$  °C при  $\phi_{пом} = 45...50$  %, зимой  $t_{пом} = 21,1...23,9$  °C. В каютах транспортных судов летом  $t_{пом} = 26,7...29,4$  °C при  $\phi_{пом} = 40...50$  %. Таким образом, энтальпия и влагосодержание воздуха в помещениях пассажирских и транспортных судов соответственно составят:  $I_{пом} = 46...55$  кДж/кг,  $d_{пом} = (8,6...11) \times 10^{-3}$  кг/кг и  $I_{пом} = 48...62$  кДж/кг,  $d_{пом} = (9,7...13) \times 10^{-3}$  кг/кг.

Отечественными санитарными правилами установлены для судовых помещений (пассажирских и транспортных) следующие параметры воздуха: летом –  $t_{пом} = 25$  °C при  $\phi_{пом} = 40...60$  %, что соответствует  $I_{пом} = 45...55$  кДж/кг (линия В-Г, рисунок 2) и  $d_{пом} = (7,8...11,7) \times 10^{-3}$  кг/кг; зимой –  $t_{пом} = 20$  °C при  $\phi_{пом} = 40...60$  %, что соответствует  $I_{пом} = 35...42$  кДж/кг и  $d_{пом} = (5,8...8,7) \times 10^{-3}$  кг/кг. Необходимые диапазоны состояния воздуха в помещениях морских судов в I-d диаграмме влажного воздуха показаны на рисунке 2.

Условно судовые жилые помещения можно разделить на группы: первая – в помещении находится небольшое количество людей; вторая – с большим количеством людей. Для желаемого состояния микроклимата, при  $t_{пом} = 50$  °C и  $\phi_{пом} = 50$  % и подаваемого охлажденного воздуха после кондиционера с  $t_{вых} = 18^\circ$  на рисунке 2 показаны действительно достигнутые в отдельных помещениях нужного микроклимата. Доказано [2], что люди испытывают одинаковое ощущение комфорта при параметрах воздуха в помещениях  $t_{пом} = 25$  °C,  $\phi_{пом} = 30$  % и  $t_{пом} = 25$  °C,  $\phi_{пом} = 85$  %;  $t_{пом} = 30$  °C,  $\phi_{пом} = 30$  % и  $t_{пом} = 30$  °C,  $\phi_{пом} = 60$  %.

Кроме того, влияние теплопритоков в отдельных помещениях на морском судне очень различно. Жилые помещения судов неравномерно подвержены теплопритокам от внешних и внутренних источников, какими являются: теплоприток через наружные ограждения, от солнечной радиации, от людей, находящихся в помещении и переборки от некондиционируемых помещений. С учетом этого судовые помещения группируются по приблизительно одинаковому количеству присутствующих в них людей, одинаковому расположению на судне и в результате образуют три категории: первая – помещения, примыкающие к машинному отделению; вторая – помещения, не имеющие ограждений, контактирующие с внешней средой; третья – имеющие внешние ограждающие конструкции. На рисунке 3 схематично показано расположение этих помещений на судне.

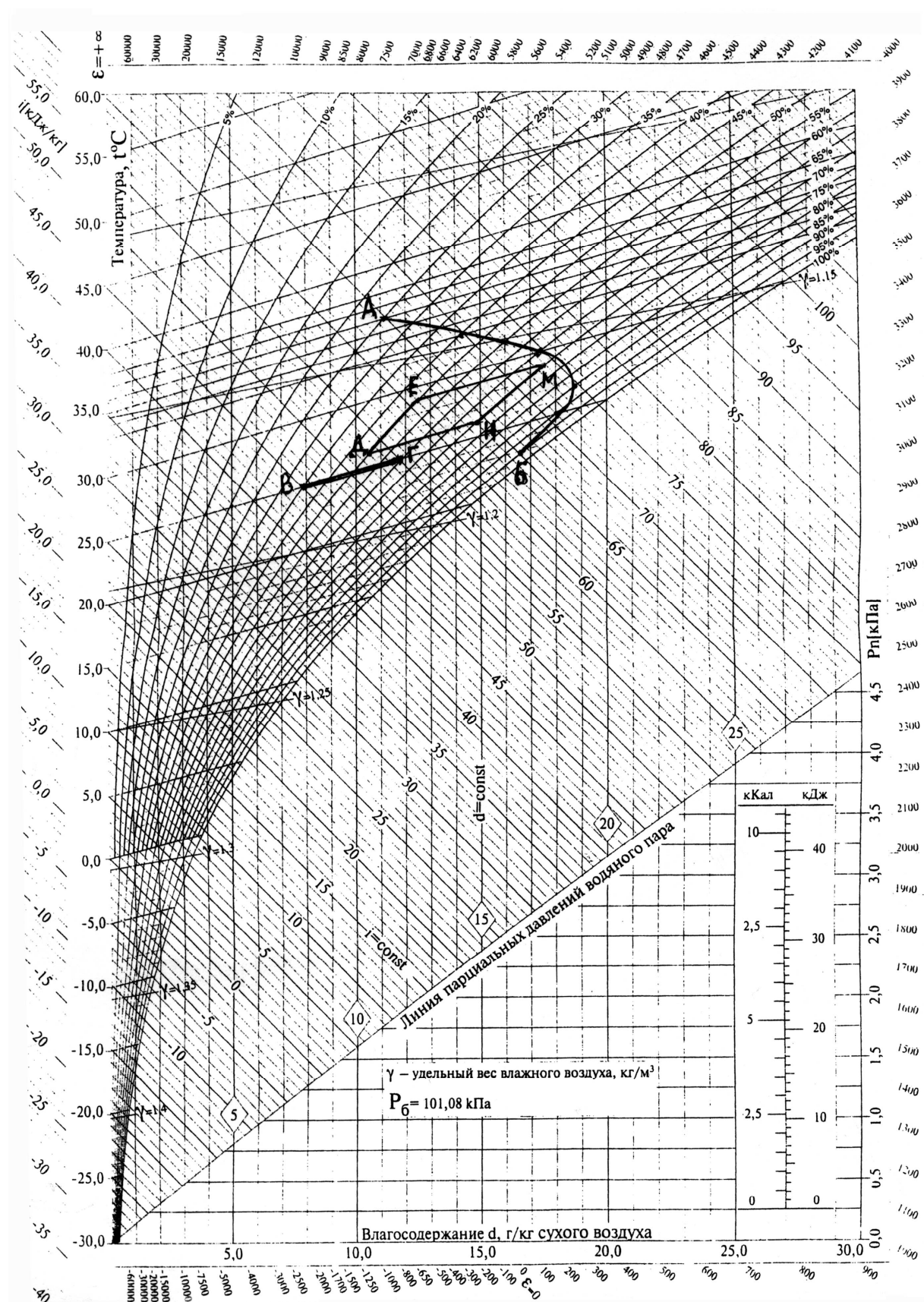


Рисунок 2 — Тепловлажностные процессы наружного воздуха и воздуха в жилых помещениях морских судов в I-d диаграмме влажного воздуха

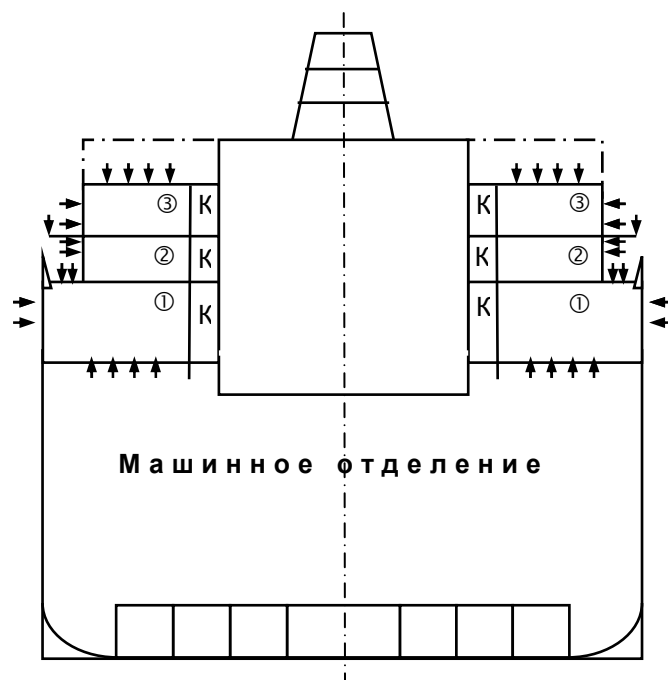


Рисунок 3 – Схематичное деление на категории жилых помещений на судне  
 1 – помещения, прилегающие к машинному отделению; 2 – помещения с нормальным расположением; 3 – помещения, граничащие с наружным воздухом;  
 4 – ограждение шахты; 5 – тенд; к – коридор

Как правило, в помещениях второй категории находится большее количество людей. В таблице 2 приводится процентное соотношение воздействия теплопритоков на категории помещений. Данные, приведенные в таблице, показывают, что тепловые нагрузки для разных категорий помещений различные. Вследствие этого возникают различные соотношения физической и скрытой теплоты, то есть различные значения отношения энтальпии и влагосодержания воздуха  $I_{ном}/d_{ном}$ . Данное отношение для помещений с небольшим количеством людей изменяется в пределах 10435...23023 кДж/кг, а с большим равно 4814 кДж/кг. Это важно учитывать при регулировании микроклимата в отдельных помещениях, так как СКВ, как правило, оборудуются центральными кондиционерами, что затрудняет обеспечение одинаковых состояний воздушной среды.

Таблица 2 – Теплопритоки помещений морских судов

| Вид теплопритоков                                       | Первая категория помещений с небольшим числом людей, % | Вторая категория помещений  |                           | Третья категория помещений с небольшим числом людей, % |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                                         |                                                        | с небольшим числом людей, % | с большим числом людей, % |                                                        |
| Теплопритоки через наружные ограждения                  | 7                                                      | 7                           | 7                         | 15                                                     |
| Теплопритоки от солнечной радиации                      | 30                                                     | 10                          | 8                         | 60                                                     |
| Теплопритоки от помещений без кондиционирования воздуха | 25                                                     | 25                          | 20                        | 27                                                     |
| Тепло, поступающее через ограждения машинного отделения | 30                                                     | -                           | -                         | -                                                      |
| Тепло, поступающее от людей                             | 8                                                      | 8                           | 45                        | 8                                                      |
| Суммарные теплопритоки помещений                        | 100                                                    | 50                          | 80                        | 110                                                    |

Если считать, что теплопритоки от внутренних не кондиционируемых помещений и машинного отделения относительно стабильны, то остальные теплопритоки переменны. Это требует разработки алгоритма по регулированию микроклимата для каждой категории помещений и выбора средств регулирования.

Практика создания судовых систем кондиционирования воздуха показывает, что чаще используются системы с центральными низко- или высоконапорными кондиционерами. Обработанный в кондиционере воздух в летнем режиме эксплуатации выходит из него с температурой  $t_{\text{вых}} = 10...13^\circ\text{C}$  и направляется в помещения. Поддержание температуры кондиционированного воздуха в каждой категории помещений осуществляется количеством подаваемого воздуха. В результате анализа для высоконапорных СКВ можно рекомендовать следующие значения воздухообмена: первая категория помещений –  $6 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; вторая –  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; третья –  $7 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Для низконапорных СКВ это соотношение составит: первая категория –  $11 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; вторая –  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; третья –  $12 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Если СКВ эксплуатируется в режиме вентиляции, то соотношение воздухообмена отличается от летнего режима и определяется не только разностью температур в отдельных помещениях, но и количеством свежего воздуха на одного человека, установленного санитарными нормами.

#### **Выводы**

В результате проделанного анализа взаимосвязи состояний наружного воздуха и микроклимата судовых жилых помещений с учетом теплопритоков можно разрабатывать алгоритм и программу автоматического управления СКВ.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на обеспечение оптимальной эксплуатации комплекса холодильная установка-кондиционер на основе разработки алгоритма автоматического управления СКВ.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Касалайнен Н.Н. Обработка воздуха в судовых системах кондиционирования / Н.Н. Касалайнен. — Л.: Судостроение, 1971. — 144 с.
2. Koch W. Is Humidity Important in the Temperature Comfort Range / W. Koch, B.H. Jennings, C.M. Humphreys // ASHRAE Journ. 2. — 1960. — № 4. — P. 13–17.

*Поступила в редакцию 07.04.2011 г.*

#### **Єфремов С.М., Горобець Г.В., Гончар А.Б. Аналіз можливості автоматичного керування системою кондиціювання повітря на морських судах**

Розглянуто взаємозв'язок параметрів зовнішнього середовища та мікроклімату житлових приміщень суден в умовах морської експлуатації для вибору умов автоматичного управління системою кондиціювання повітря (ВКВ) влітку.

**Ключові слова:** кондиціювання повітря, температура, відносна вологість, район плавання, тепловий процес.

#### **Efremov S.N., Gorobets G.V., Gonchar A.B. Analysis of the possibility to automatically control the system of air conditioning at the sea ships**

The article considers the interrelation between parameters of the external environment and microclimate in the inhabited premises of ships under conditions of marine operation to select conditions for automatic control of the system of air conditioning in summer.

**Keywords:** air conditioning, temperature, relative moisture, region navigation, heat procedure.