

8. *Быковский С.Ю.* Исследование морфологии поверхности структур с открытыми квантовыми точками, полученных методом жидкофазной эпитаксии / С.Ю. Быковский [и др.] // Матер. XIV Міжнар. конф. МКФТТПН-ХІV «Фізика і технологія тонких плівок та наносистем», Івано-Франківськ, 20 - 25 травня 2013 г. – Івано-Франківськ: ПНУ ім. Стефаника, 2013. – С. 209.

9. *Kühler U.* Strained-layer growth and islanding of germanium on Si(111) studied with STM / U. Kühler [and oth.] // Surf. Sci. – 1991. – Vol. 248. – P. 321 – 331.

Надійшла до редакції 04.12.2013 р.

УДК 629.12.06:626.83

АНАЛИЗ ИСТЕЧЕНИЯ КОНДИЦИОНИРОВАННОГО ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ДОВОДОЧНО-РАЗДАТОЧНОЕ УСТРОЙСТВО В СУДОВОЕ ПОМЕЩЕНИЕ

**С.Н. Ефремов¹, к.т.н., доц., А.И. Мальчиков¹, к.т.н., доц.,
В.А. Тимофеев¹, ст. препод., А.Б. Гончар², маг.**

¹*Севастопольский национальный технический университет;*

²*Военно-морские силы Украины, г. Севастополь*

В ряде работ были рассмотрены и проанализированы энергетические характеристики и работоспособность сопловых агрегатов судовых СКВ до этапа выпуска кондиционированного воздуха в судовые помещения. В данной работе рассмотрена оценка работоспособности доводочно-раздаточного устройства с помощью эксергетического метода.

Введение

В настоящее время все больше внимания уделяется анализу качества использования систем и механизмов судовых энергетических установок. Судовое кондиционирование воздуха является сложным энергетическим устройством, обеспечивающим комфортный микроклимат в судовых помещениях. Эксплуатация этих систем как в летнем, так и зимнем режимах требует значительных затрат энергии [1].

При создании судовых систем кондиционирования воздуха (СКВ) очень важно проанализировать энергетические затраты, потери и работоспособность всей системы и отдельных ее узлов и агрегатов. Наличие подобных анализов позволяет выбрать оптимальные решения при создании СКВ, рациональные пути эксплуатации.

Постановка цели и задач научной работы

Целью данной научной работы является анализ термодинамических и тепловлажных характеристик конечного этапа СКВ - доводочно-раздаточного устройства (ДРУ), определяющего состав и качество воздушной среды в помещении. Задачи следующие: рассмотреть тепловлажностные режимы эксплуатации СКВ на конкретном судне, определить термодинамические характеристики ДРУ на исследуемых режимах и, используя эксергетический метод, определить работоспособность устройства.

Принцип работы доводочно-раздаточного устройства

Создание комфортных условий в судовых помещениях обеспечивается качеством не только обработки приточного воздуха в кондиционерах, но и воздухораспределением. В обитаемой зоне должно быть обеспечено равномерное температурное поле с разностью температур в разных точках не более 1°C при скорости движения воздуха порядка $0,15 \dots 0,2$ м/с и менее (в тропиках – до $0,5$ м/с).

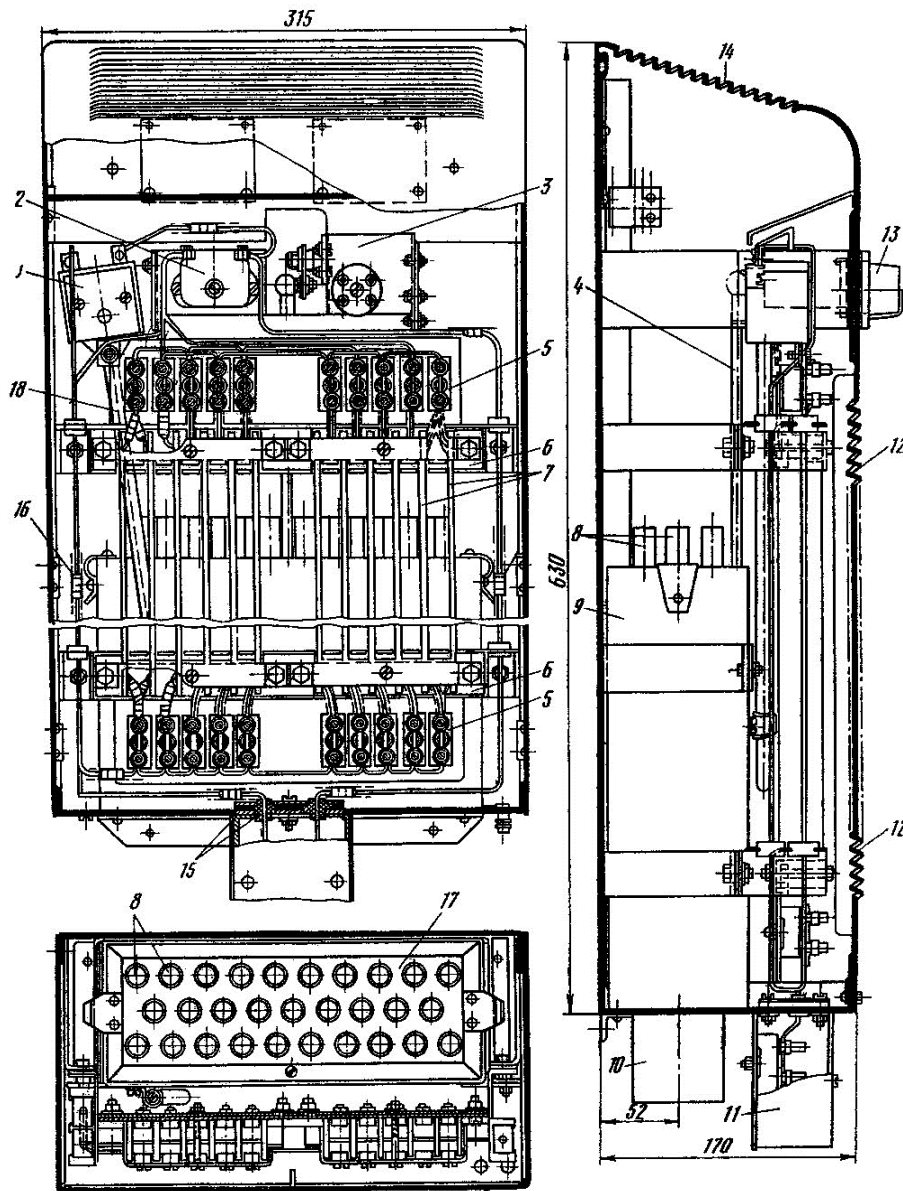


Рис. 1. Конструкция доводочно-раздаточного устройства типа В8-1000:
 1 – термореле; 2 – трехрежимный электропереключатель; 3 – редуктор
 воздухорегулятора; 4 – соединительный вал; 5 – клеммная педаль;
 6 – верхняя и нижняя шины; 7 - пластинчатые электрогрелки;
 8 – резиновые сопла; 9 – сопловая коробка; 10 – входной патрубок;
 11 – клеммная коробка; 12 – входные жалюзи; 13 – рукоятка управления;
 14 – выходная решетка; 15 – уплотнение; 16 – изоляционные бусины;
 17 – сопловая доска; 18 – температурный датчик

Особенность воздухораспределения в судовых СКВ заключается в следующем:

– малые площади и объемы судовых помещений, значительная загроможденность при малой высоте помещения 2...2,2 м, обитаемой зоной является практически весь объем;

– чрезмерные избытки тепла, выделяемого в помещении и поступающего снаружи, требуют воздухообмен 3...10 ед./ч, а рабочая разность температур при этом 5...9 °С.

В высоконапорных судовых СКВ распределение воздуха в помещениях осуществляется ДРУ с двойной эжекцией воздуха (внутри и на выходе из ДРУ), что позволяет увеличить температурный перепад между приточным воздухом и находящимся в помещении до 18 °С. Это приводит к уменьшению расхода приточного воздуха и улучшению воздухораспределения.

На рис. 1 приводится конструкция ДРУ типа В8-1000, используемого на рыбоморозильных траулерах [1].

Эжекционное доводочно-раздаточное устройство В8-1000 настенного и потолочного типа имеет индивидуальный электроподогрев и обеспечивает подачу приточного и рециркуляционного воздуха в соотношении 1:1,3. Типоразмеры ДРУ обеспечивают производительность по воздуху 80...100 м³/ч.

Приточный воздух через патрубок 10 поступает в сопловую коробку 9, в которой происходит уменьшение остаточного шума, вызываемого потоком воздуха. На верхней части коробки расположена сопловая доска 17, имеющая 29 резиновых сопел 8 диаметром по 10 мм. Из сопел приточный воздух с повышенной скоростью поступает в эжекционную шахту, создавая в ней разрежение и подсос рециркуляционного воздуха из помещения через жалюзи 12 и, при необходимости, его подогрев при обтекании пластинчатых электрогрелок 7 мощностью 90 Вт.

Смешанный приточный и рециркуляционный воздух попадает в помещение через верхнюю выходную решетку 14. С помощью регулятора через редуктор 3 поступление приточного воздуха можно изменять вращением рукоятки 13, выведенной на лицевую панель. На ней же находится рукоятка тактового переключателя 2 электрогрелок, рассчитанного на три режима подогрева: 25, 50 и 100 % мощности. Датчик термореле 1 обеспечивает автоматическое включение и выключение электрогрелок при достижении температуры воздуха 65 и 90 °С.

Эксергетический анализ процесса истечения кондиционированного воздуха

Анализ основывается на рабочих циклах эксплуатации СКВ рыбоморозильного траулера в летнем и зимнем режимах, показанных на h, d (удельная энтальпия, влагосодержание) – диаграмме рис. 2. Летний режим: н – р – с – в – т – к – п; зимний: н' – вн₁ – с' – в' – у' – вн₂ – п'.

Анализируя истечение кондиционированного воздуха, поступающего в ДРУ, в летнем режиме с параметрами в точке к, удобно пользоваться схемами рис. 3 [2].

Для удобства эксергетического анализа термодинамических процессов в ДРУ представляется физическая модель с учетом закономерностей взаимного влияния потоков воздуха в летнем и зимнем режимах эксплуатации СКВ.

Летний режим

$$\begin{aligned} E_k &= E_k(G_k, T_k, T_{o.c.}, p_k, p_{o.c.}, d_k, d_{o.c.}, f_k); \\ E_1 &= E_1(G_k, T_k, T_{o.c.}, p_k, p_{o.c.}, d_k, d_{o.c.}, f_1); \\ E_2 &= E_2(G_k, T_2, T_{o.c.}, p_1, p_{o.c.}, d_k, d_{o.c.}, f_2); \\ E_3 &= E_3(G_3, T_3, T_{o.c.}, p_3, p_{o.c.}, d_3, d_{o.c.}, f_3); \\ E_4 &= E_4(G_4, T_4, T_{o.c.}, p_4, p_{o.c.}, d_4, d_{o.c.}, f_4); \end{aligned}$$

Зимний режим

$$\begin{aligned} E_{k'} &= E_{k'}(G_{k'}, T_{k'}, T_{o.c.}, p_{k'}, p_{o.c.}, d_{k'}, d_{o.c.}, f_{k'}); \\ E_{1'} &= E_{1'}(G_{k'}, T_{k'}, T_{o.c.}, p_{k'}, p_{o.c.}, d_{k'}, d_{o.c.}, f_{1'}); \\ E_{2'} &= E_{2'}(G_{k'}, T_{2'}, T_{o.c.}, p_{2'}, p_{o.c.}, d_{k'}, d_{o.c.}, f_{2'}); \\ E_{3'} &= E_{3'}(G_{3'}, T_{3'}, T_{o.c.}, p_{3'}, p_{o.c.}, d_{3'}, d_{o.c.}, f_{3'}); \\ E_{4'} &= E_{4'}(G_{4'}, T_{4'}, T_{o.c.}, p_{4'}, p_{o.c.}, d_{4'}, d_{o.c.}, f_{4'}); \end{aligned}$$

Здесь E_k, E_1, E_2, E_3, E_4 – эксергия потоков воздуха, кВт; G_k, G_3, G_4 – расходы потоков воздуха, кг/с; T_k, T_2, T_3, T_4 – температуры потоков, К; $T_{o.c.}$ – температура окружающей среды (принята $T_{o.c.} = 293$ К); p_k, p_2, p_3, p_4 – давление потоков, кПа; d_k, d_3, d_4 – влагосодержание потоков, кг/кг; $d_{o.c.}$ – влагосодержание воздуха окружающей среды, кг/кг; f_k, f_1, f_2, f_3, f_4 – конструктивные особенности элементов ДРУ.

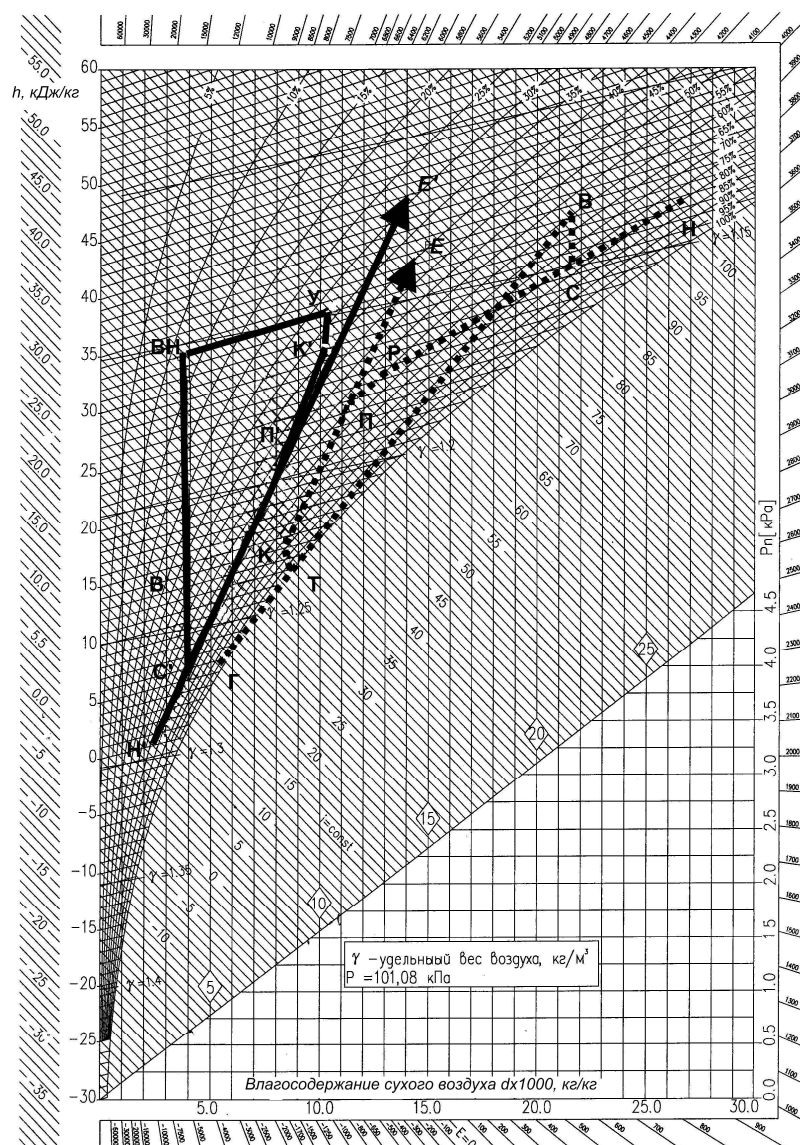


Рис. 2. Рабочие процессы тепловлажностной обработки воздуха в h, d – диаграмме в летнем и зимнем режимах эксплуатации СКВ
 — зимний режим; ••••• – летний режим

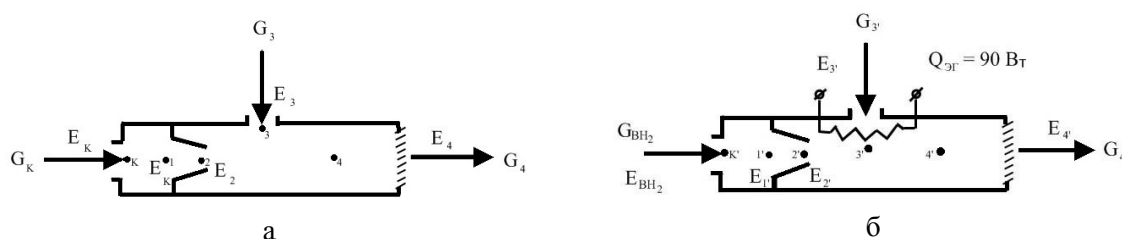


Рис. 3. Схема прохождения потока кондиционированного воздуха через ДРУ:
 а – режим летней эксплуатации; б – режим зимней эксплуатации

Как указывалось выше, ДРУ содержит 29 резиновых сопел диаметром $d_2 = 10$ мм. Рассмотрено истечение воздушного потока через одно сопло, результаты обобщены для всех. В табл. 1 приведены параметры воздушного потока при прохождении ДРУ.

Т а б л и ц а 1

Параметры воздушного потока, проходящего через ДРУ типа В8-1000

| Параметры истечения воздушных потоков | Летний режим | | | | | Зимний режим | | | | |
|--|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| | к | 1 | 2 | 3 | 4 | к' | 1' | 2' | 3' | 4' |
| Расход, G , кг/с | 0,046 | 0,046 | 0,046 | 0,06 | 0,1 | 0,046 | 0,046 | 0,046 | 0,06 | 0,1 |
| Давление, p , кПа | 102,3 | 102,3 | 98 | 101,3 | 101 | 102,3 | 102,3 | 98 | 101,1 | 101 |
| Скорость, w , м/с | 13,3 | 8,5 | 16,8 | 2,5 | 2,3 | 13,3 | 8,5 | 16,8 | 2,5 | 2,3 |
| Температура, T , К | 288 | 288 | 286 | 299 | 300 | 305 | 303 | 301 | 360,5 | 298 |
| Относительная влажность, φ , % | 87 | 87 | 87 | 60 | 65 | 40 | 40 | 40 | 50 | 48 |
| Удельная энтальпия, h , кДж/кг | 37 | 37 | 35 | 61,4 | 53 | 52,2 | 52,2 | 52 | 50 | 51,5 |
| Влагосодержание, d , 10^{-3} , кг/кг | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 13,4 | 11,3 | 10,5 | 10,5 | 8,5 | 9,8 | 9,4 |
| Удельная эксергия потока, e , кДж/кг | 0,92 | 0,92 | -2,7 | 0,086 | -0,17 | 1,014 | 1,014 | -2,66 | 20,7 | 16,18 |

Процесс смешения потоков воздуха приточного и эжекционного в эжекционной шахте 4 решается термодинамическими уравнениями переменной массы. Для системы, в которой осуществляются термодинамические воздействия и меняется масса, уравнение первого начала термодинамики может быть представлено как [3]

$$\delta Q_3 - \delta Q_2 + \sum h_{2i} \cdot \delta m_{3i} - h_{0i} \cdot \delta m_{0i} = dU + p_4 \cdot dV_4. \quad (1)$$

В этом уравнении δQ_3 – элементарное количество подведенного тепла с подсосываемым воздухом и δQ_2 – элементарное количество тепла, воспринятое приточным воздухом сопел; h_3 и δm_3 – удельная энтальпия и элементарная масса эжектируемого воздуха; h_0 и δm_0 – то же, для утечки воздуха из-за неплотности ДРУ; dU – приращение внутренней энергии; p_4 и V_4 – давление и объем воздуха в эжекционной шахте.

Введем обозначение

$$\delta Q_4 = \delta Q_3 - \delta Q_2 = m_4 \cdot T_4 \cdot dS,$$

где m_4 и S – масса и энтропия смешанного воздуха в эжекционной шахте ДРУ.

Тогда уравнение (1) может быть записано в виде

$$\delta Q_4 + h_3 \cdot \delta m_3 - h_{0i} \cdot \delta m_{0i} = dU + p_4 \cdot dV_4.$$

Учитывая, что приращение массы в эжекционной шахте $dm = \delta m_3 - \delta m_2$, получаем основное исходное термодинамическое уравнение в виде

$$\delta Q + (h_3 - h_2) \cdot \delta m_3 + h_2 \cdot dm = dU + p_4 \cdot dV_4 = dH_4 - V_4 \cdot dp_4,$$

где H_4 – энтальпия воздуха в эжекционной шахте.

Работоспособность и эксергетический КПД ДРУ определяется эксергетическим расчетом кондиционированного влажного воздуха [4]. Удельная эксергия потока влажного воздуха определяется по формуле

$$e_B = T_{o.c.} \left\{ (c_{p.c.} + d_B \cdot c_{p.п.}) \cdot \left(\frac{T_B}{T_{o.c.}} - 1 - \ln \frac{T_B}{T_{o.c.}} \right) + R_n \left[(0,622 + d_B) \cdot \ln \frac{p_B(0,622 + d_{o.c.})}{p_{o.c.}(0,622 + d_B)} + d_B \ln \frac{d_B}{d_{o.c.}} \right] \right\},$$

где $T_B, T_{o.c.}$ – температуры потока воздуха и окружающей среды, соответственно, К;

$c_{p.c.}, c_{p.п.}$ – средняя удельная изобарная теплоемкость сухого воздуха и водяного пара, соответственно, кДж/(кг·К);

$d_B, d_{o.c.}$ – влагосодержание воздуха и окружающей среды, соответственно, кг/кг;

$R_n = 0,4615$ кДж/(кг·К) – газовая постоянная водяного пара;

0,622 – отношение средних молекулярных масс воды и сухого воздуха;

$p_B, p_{o.c.}$ – полное давление потока воздуха и окружающей среды, соответственно, кПа.

Полученные результаты расчета e_B для летнего и зимнего режимов работы СКВ, представленных в h, d -диаграмме, рис. 2, приведены в табл. 1.

$$e_B = T_{o.c.} \left\{ (c_{p.c.} + d_K \cdot c_{p.п.}) \cdot \left(\frac{T_K}{T_{o.c.}} - 1 - \ln \frac{T_K}{T_{o.c.}} \right) + R_n \left[(0,622 + d_K) \cdot \ln \frac{p_K(0,622 + d_{o.c.})}{p_{o.c.}(0,622 + d_K)} + d_K \ln \frac{d_K}{d_{o.c.}} \right] \right\},$$

Здесь $T_{o.c.} = 293$ К; $c_{p.c.} = 1$ кДж/(кг·К); $c_{p.п.} = 1,89$ кДж/(кг·К); $R_n = 0,4615$ кДж/(кг·К); $p_{o.c.} = 101,3$ кПа; $d_{o.c.} = 0,0113$ кг/кг.

Т а б л и ц а 2

Параметры расчета удельной эксергии потока влажного воздуха

| Летний режим | | | | | |
|---------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| Параметры расчета e , кДж/кг | Точки расчета | | | | |
| | к | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Температура, T , К | 288 | 288 | 286 | 299 | 300 |
| Давление, p , кПа | 102,3 | 102,3 | 98 | 101,3 | 101 |
| Влагосодержание, d , кг/кг | 0,0088 | 0,0088 | 0,0088 | 0,0134 | 0,0113 |
| Зимний режим | | | | | |
| Параметры расчета e' , кДж/кг | к' | 1' | 2' | 3' | 4' |
| Температура, T , К | 303 | 303 | 301 | 360,5 | 298 |
| Давление, p , кПа | 102,3 | 102,3 | 98 | 101,3 | 101 |
| Влагосодержание, d , кг/кг | 0,0105 | 0,0105 | 0,0085 | 0,0098 | 0,0094 |

Эксергия потоков воздуха в каждой точке процесса летнего и зимнего режимов определяется по формуле $E = G \cdot e$. Далее определяется подведенная работоспособность в летнем режиме $E_L^+ = E_2 + E_3$ и подведенная работоспособность в зимнем режиме $E_3^+ = E_2 + E_3$.

Потеря эксергии составит:

- летний режим

$$D_L = G_4 \cdot [T_{o.c.} \cdot (S_4 - S_{o.c.})],$$

где $S_4 = 6,88$ кДж/(кг·К); $S_{o.c.} = 6,84$ кДж/(кг·К);

- зимний режим

$$D_3 = G_4 \cdot [T_{o.c.} \cdot (S_4 - S_{o.c.})],$$

где $S_4 = 6,86$ кДж/(кг·К); $S_{o.c.} = 6,84$ кДж/(кг·К).

Эксергетический КПД:

- летний режим

$$\eta_e^+ = \frac{E_n^+}{E_n^+ + D_n} = 0,09;$$

- зимний режим

$$\eta_e^3 = \frac{E_3^+}{E_3^+ + D_3} = 0,64.$$

Выводы

Выполненный анализ дает возможность более полно и достоверно обеспечить установление микроклимата в судовых помещениях, а также оптимальное автоматическое управление системой кондиционирования воздуха.

Результатами проделанного анализа являются составленные физические модели для летнего и зимнего режимов работы ДРУ, определены энергетические потери. Повышение температурного потенциала эжектируемого воздуха в зимнем режиме обеспечивает рост КПД ДРУ.

АНАЛІЗ ЗАКІНЧЕННЯ КОНДИЦІОНОВАНОГО ПОВІТРЯ ЧЕРЕЗ ДОВОДОЧНО-РЕГУЛЮЮЧИЙ ПРИСТРІЙ В СУДНОВЕ ПРИМІЩЕННЯ

С.М. Єфремов, А.І. Мальчиков, В.О. Тимофеев, А.Б. Гончар

Аналізується проходження кондиціонованого повітря через доводочно-регулюючий пристрій у суднове приміщення. Розглянути термодинамічні процеси змінної маси повітря у ДРП, а також працездатність пристрою на основі ексергетичного аналізу.

ANALYSIS of the EXPIRATION of the CONDITIONED AIR THROUGH CONTROL DEVICE in the SHIP ACCOMMODATION

S. Efremov, A. Malchikov, V. Timofeev, A. Gonchar

In the article analyze passing the conditioned air trough the control device in the ship accommodation. Consideration termodinamical processes variable air mass and the efficiency of the denice based of the exergetical analisis.

Список использованных источников

1. *Ионов А.Г.* Система кондиционирования воздуха на рыбозаморозильных траулерах типа «Прометей» / А.Г. Ионов, Г.В. Кудрявцев, А.Д. Литвинов // Холодильная техника. - 1975. - № 6. - С. 27 - 30.
2. *Захаров Ю.В.* Оборудование судовых систем кондиционирования воздуха / Ю.В. Захаров, Л.М. Андреев. - Л.: Судостроение, 1971. - 319 с.
3. *Чистяков Ф.М.* Термодинамические уравнения для процессов с переменной массой / Ф.М. Чистяков // Расчет и экспериментальное исследование холодильных и компрессорных машин // Тематический сб. тр. ВНИИхолодмаш. - М.: ВНИИхолодмаш, 1982. - С. 3 - 8.
4. Эксергетические расчеты технических систем: справ. пособие / В.М. Бродянский [и др.]. - АН УССР. Ин-т технической теплофизики. - К.: Наук. думка, 1991. - 360 с.

Надійшла до редакції 12.11.2013 р.
Після доопрацювання 26.11.2013 р.