

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
УКРАЇНИ**

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**



Подмазко О.С., Піщанська Н.О.

**РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЛОГІСНОГО
НАВАНТАЖЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ НА СУДАХ**

Методичні вказівки до практичних робіт

Одеса, 2020

УДК 621.565

Подмазко О.С., Піщанська Н.О. Розрахунок тепловологісного навантаження приміщень на судах. 2020. – 14 с.

Методичні вказівки розроблено згідно з робочою навчальною програмою дисципліни «Суднова холодильна техніка» для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Енергомашинобудування», спеціальності «Холодильні машини і установки» денної та заочної форми навчання.

Призначено для виконання практичних робіт студентами денної та заочної форми навчання по закріпленню окремих тем дисципліни.

Рецензент:

Розглянуто та рекомендовано до видання на засіданні кафедри холодильних машин і установок, кондиціонування повітря

Протокол № _____ 2020 р.

Зав.кафедрою

М.Г. Хмельнюк

Розглянуто та рекомендовано до видання на засіданні науково-методичної комісії з напрямку підготовки «Енергомашинобудування»

Протокол № _____ 2020 р.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕПЛО-ВОЛОГІСНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИМІЩЕНЬ НА СУДАХ

Вступ

Для підтримки життєво важливих параметрів повітряного середовища в сприятливих межах для адаптаційних можливостей людини служить система комфортного кондиціонування повітря. Вона включає комплекс пристроїв, в яких повітря приймається, обробляється і розподіляється по житлових приміщеннях. Суднові системи кондиціонування повітря (ССКП) забезпечують влітку відведення з приміщень надлишків вологи і тепла, взимку – відведення надлишкової вологи і підведення теплоти, а також необхідну кратність повітрообміну для підтримки необхідного складу повітря.

Крім систем комфортного кондиціонування повітря, на судах використовуються і системи технічного кондиціонування. Їх завдання – забезпечити найбільш сприятливий режим для експлуатації суднового устаткування, цистерн і танків, для збереження якості вантажів, що перевозяться, запобігання вибухів на танкерах. Залежно від конкретних умов це завдання може вирішуватися зниженням або вологості, або вміст кисню в повітрі.

Всі ССКП, незалежно від їх конструкції, включають в себе наступні основні вузли: установку для приготування тепло- і холодоносія; установку для підготовки повітря і подачі повітря в приміщення (центральний кондиціонер), що складається з вентилятора, фільтрів, теплообмінних апаратів, глушників шуму; повітропроводів; розподільників повітря; каютних повітропроводів; системи дистанційного або автоматичного контролю і управління.

При переході судна з вантажем в його трюмах відбуваються складні тепловологісні процеси, які можуть призвести до конденсації водяної пари з повітря на частинах набору корпусу судна або на вантаж, до його запотівання і набору надлишків вологи, утворення цвілі і нальотів, нагрівання і бродінню,

усушку або обводнення вантажу і ін. Для запобігання псуванню вантажу і збереження корпусу судна від корозії необхідно підтримувати в трюмах певний тепловологісний режим шляхом штучного видалення надлишків вологи і вентиляції вантажних приміщень.

При перевезенні рідких вантажів утворюються вибухонебезпечні концентрації парів рідких вантажів з атмосферним повітрям, особливо при вантажно-розвантажувальних роботах і баластних переходах. Радикальним вирішенням питань пожежної безпеки нафтоналивного флоту і суден-газовозів є створення в вантажних відсіках інертного середовища, позбавленого кисню. Це може бути забезпечено створенням ефективних судових систем інертних газів, обладнаних високопродуктивними генераторами газів і здійснюють подачу кондиціонованих випускних і топкових газів в вантажні приміщення.

1. Розрахунок теплонадходження до приміщень на судах

1.1 Теплонадходження від огорожень (покрівлі, підлоги, зовнішніх та внутрішніх стін)

Розрахунок надходження теплоти в приміщення складається з надходження теплоти крізь огороження $Q_{огор}$, тепла від інфільтрації $Q_{інф}$ і витрати теплоти на технологічні потреби Q_T .

$$Q = Q_{огор} + Q_{інф} + Q_T$$

Теплоприпливи крізь зовнішні огороження визначаються рівнянням:

$$Q_{огор} = Q_{кр} + Q_{ст} + Q_{в} + Q_{ост}$$

де $Q_{кр}$ – кількість теплоти, що надходить крізь покрівлю, Вт;

$Q_{ст}$ – кількість теплоти, що надходить крізь зовнішні конструкції, Вт;

$Q_{в}$ – кількість теплоти, що надходить крізь внутрішні огороження, Вт;

$Q_{ост}$ – кількість теплоти, що надходить крізь засклені поверхні (вікна), Вт.

Теплоприпливи крізь покрівлю визначають за формулою:

$$Q_{кр} = k_1 \cdot k_{кр} \cdot F_{кр} \cdot \theta_{кр}$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості покрівлі, приймається: для двосхилої покрівлі (без вентиляції горища – 1, з гарною

вентиляцією горища – 0,75), для плоскої покрівлі (білого кольору – 1, інших кольорів – 1,5);

$k_{кр}$ – коефіцієнт теплопровідності покрівлі, Вт/(м²·К);

$F_{кр}$ – площа горизонтальної проекції покрівлі, м²;

$\theta_{кр}$ – умовний температурний напір між зовнішнім повітрям і повітрям у приміщенні, є складною функцією і визначається в залежності від величин t_3 , t_3-t_6 , Δt_c [1];

$t_в$ – температура приміщення;

t_3 – температура зовнішнього повітря.

Теплоприпливи крізь зовнішні огороження визначаємо за формулою:

$$Q_{ст} = k_{ст} \cdot a \cdot (F_c + 0,5 \cdot F_3) \cdot \theta_{ст}$$

де $k_{ст}$ – коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни, Вт/(м²·К); $a = 0,7 \dots 0,9$ – коефіцієнт, що враховує затінення верхнього поверху стіни виступаючою покрівлею; F_c – площа зовнішніх стін, освітлюваних сонцем, крім північної, м²; F_3 – площа затінених стін, включаючи північну, м²; $\theta_{ст}$ – умовний температурний напір через стіну між зовнішнім повітрям і повітрям у приміщенні. $\theta_{ст}$ є складною функцією і визначається в залежності від величин t_3 , t_3-t_6 , Δt_c , від маси огорожі та кольору стін, довідникова величина [1].

Теплоприпливи крізь внутрішні перегородки і міжповерхові перекриття приміщення, що відокремлюють приміщення, які кондиціонують, від приміщень, які не кондиціонують, визначають за формулою:

$$Q_в = k_в \cdot F_в \cdot (t_{см.п} - t_в)$$

де $k_в$ – коефіцієнт теплопередачі перегородок або перекриттів,

$F_в$ – загальна площа перегородок.

Температура в суміжних приміщеннях, які не кондиціонуються, приймається:

а) $t_{см.п} = 0,5 \cdot (t_3 + t_6)$, °С, - у суміжному приміщенні за малі збитки теплоти;

б) $t_{см.п} \approx t_3$, °С, - у суміжному приміщенні за малих явних теплоприпливів;

в) $t_{\text{см.п}} = t_3 + \Delta t$, °С – у суміжному приміщенні за великих явних теплоприпливів; Δt – приймають від 3 до 10°С.

Теплоприпливи $Q_{\text{в}}$ розраховують у тих випадках, коли різниця температур складає більше 5°С.

1.2 Теплонадходження за рахунок сонячної радіації

Теплоприпливи від сонячної радіації розраховують при температурі зовнішнього повітря більше 10 °С.

Теплоприпливи залежать від географічної широти, часу року, розрахункової години. Теплоприпливи від сонячної радіації через засклені поверхні розраховують за формулою:

$$Q_{\text{ост}} = F_{\text{ост}} \cdot [q_{\text{с}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{забр}} \cdot k_{\text{зат}} + k_{\text{o}} \cdot (t_3 - t_{\text{в}})]$$

де $q_{\text{с}}$ – питомий тепловий потік внаслідок сонячної радіації (прямої та розсіяної) через чисте одинарне скло, Вт/м², визначається за таблицями [1].

$F_{\text{ост}}$ – площа заскленої поверхні, що піддається прямій радіації, м²;

$k_{\text{п}}$, $k_{\text{забр}}$, $k_{\text{зат}}$ – коефіцієнти, що враховують, відповідно, вплив плетінь і конструкцій заскленої поверхні [1], можливість забруднення, $k_{\text{заб}} = 0.75$, затінення шторами, маркізами і т.д.

1.3 Теплонадходження від інфільтрації

В приміщеннях на судах рух предметів праці в процесі виробництва послідовний, тому однією з умов здійснення технологічного процесу є наявність як мінімум двох транспортних переходів. Цей фактор обумовлює визначення тепло-вологісних надходжень з інфільтраційним повітрям.

Кількість теплоти, що надходить у приміщення через нещільності в огороженнях, визначають за рівнянням:

$$Q_{\text{інф}} = G_{\text{інф}} \cdot (h_3 - h_{\text{в}})$$

де $G_{\text{інф}}$ – масова витрата повітря, що надходить в приміщення через нещільності в огороженнях (вікна і двері), кг/с;

h_3 і $h_{\text{в}}$ – ентальпія зовнішнього повітря і повітря в приміщенні, відповідно, кДж/кг.

$$G_{\text{інф}} = G_{\text{ок}} + G_{\text{дв}}$$

За умов герметичності віконних прорізів:

$$G_{\text{дв}} = n \cdot g_{\text{інф}}$$

де n – кількість технологічно обумовлених відкривань дверей в одиницю часу;

$g_{\text{інф}}$ – кількість повітря, що проникає в приміщення через двері з однією минаючою людиною, кг/чол, приймається для стулчастих дверей $g_{\text{інф}} = 3 \dots 5$ кг/чол; для обертових дверей $g_{\text{інф}} = 0,5 \dots 1$ кг/чол.

1.4 Теплонадходження від людей

Розрахунок теплоприпливів від працівників, що знаходяться у приміщенні (постійно, або з певною періодичністю). Ця кількість тепла залежить від категорії роботи та температури у приміщенні. Для виробничих приміщень слід орієнтуватися на легку категорію навантаження.

У розрахунку теплоприпливів від людей необхідно враховувати явні $Q_{\text{л}}^{\text{явн}}$, скриті $Q_{\text{л}}^{\text{скр}}$ та повні $Q_{\text{л}}^{\text{пов}}$ теплоприпливи :

$$Q_{\text{л}}^{\text{явн}} = n \cdot g_{\text{явн}};$$

$$Q_{\text{л}}^{\text{скр}} = n \cdot g_{\text{скр}};$$

$$Q_{\text{л}}^{\text{пов}} = n \cdot g_{\text{пов}},$$

де $g_{\text{явн}}$, $g_{\text{скр}}$, $g_{\text{пов}}$ – питомі кількості теплоти, відповідно, явної, скритої, повної що виділяються однієї людиною, Вт/чол [1];

n - кількість працівників.

1.5 Теплонадходження від технологічного обладнання

Кількість теплоприпливів від устаткування визначається за формулою:

$$Q_{\text{обор}} = k_{\text{од}} \cdot k_{\text{загр}} \cdot \varepsilon \sum_{i=1}^n N_y$$

де $k_{\text{од}}$ – коефіцієнт одночасності;

$k_{\text{загр}}$ – коефіцієнт завантаження, що характеризує відношення дійсної потужності до номінальної або встановленої;

N_y – номінальна потужність, Вт;

ε – витрачена частина потужності і теплоти, яка приймається: $\varepsilon = 1$, у цьому випадку вся потужність, споживана електродвигунами, цілком переходить у

теплоту приміщення; $\varepsilon = \eta_{ел.дв}$ – коли електродвигуни розміщені за межами кондиціонованого приміщення; $\varepsilon = 1 - \eta_{ел.дв}$ – коли електродвигуни розміщені в кондиціонованому приміщенні.

1.6 Теплонадходження від нагрітих поверхонь

Тепловиділення нагрітих поверхонь, що можуть використовуватися в приміщеннях на судах, визначають за рівнянням теплопередачі:

$$Q_{н.п} = \alpha \cdot F_{н.п} \cdot (t_{пов} - t_{в})$$

де α – коефіцієнт теплопередачі зовнішньої поверхні, Вт/(м²·К);

$F_{н.п}$ – площа нагрітої поверхні, м²;

$t_{пов}$ – температура нагрітої поверхні, °С.

1.7 Теплонадходження від освітлення

Розрахунок теплонадходження від штучного освітлення приміщень визначають за формулою:

$$Q_{осв} = \beta \cdot \sum N_{осв.пр}$$

де $N_{осв.пр}$ – потужність лампи, Вт;

Σ – сума освітлювальних приладів;

β – коефіцієнт, що враховує частку теплоти світильників, розташованих на стелі, яка передається у вищерозташовані приміщення ($\beta = 0,4 \dots 0,6$).

У випадку, якщо потужність освітлення у приміщеннях не визначена, теплоприпливи розраховують за рівнянням:

$$Q_{осв} = \beta \cdot q_{осв} \cdot F_{п}$$

де $q_{осв}$ – питомі теплоприпливи, що залежать від даної освітленості Вт/м²;

$F_{п}$ – площа підлоги приміщення, м².

1.8 Теплонадходження від гарячої поверхні води

Розрахунок основних теплоприпливів з відкритої поверхні гарячої води визначається:

$$Q_{явн}^{п.в} = a \cdot (t_w - t_{п}) \cdot F$$

де a – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні до повітря, $a = b + c \cdot v$, Вт/м²·К;

$b = 5,6$, $c = 4$ – коефіцієнти, що враховують тепловіддачу природною конвекцією та випромінюванням;

v – швидкість руху повітря над поверхнею води, м/с;

F – площа поверхні гарячої води, м²;

t_w – температура води, °С;

$t_{\text{п}}$ – температура у поверхні води (повітря у приміщенні), °С.

2. Розрахунок вологонадходжень до приміщень на судах

2.1 Вологонадходження від людей

Вологовиділення від працівників у приміщенні визначають за формулою:

$$W_{\text{л}} = n \cdot w_{\text{л}}$$

де $w_{\text{л}}$ – питомі вологовиділення, що залежать від температури приміщення, кг/с;

n – кількість працівників.

2.2 Вологонадходження від відкритої поверхні води

Вологовиділення з відкритої поверхні води, вологої або мокрої підлоги визначають за рівнянням:

$$W = \sigma \cdot F \cdot (d''_{\text{в}} - d_{\text{в}})$$

де $\sigma = \alpha_g / C_p$, – співвідношення Л'юїса;

C_p – теплоємність вологого повітря, кДж/(кг·К);

α_g – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

F – площа відкритої поверхні води, м²;

$d''_{\text{в}}$ – вологовміст насиченого повітря в приміщенні, кг/кг;

$d_{\text{в}}$ – вологовміст повітря в приміщенні, кг/кг.

Вологовиділення з відкритої поверхні киплячої води:

$$W_{\text{кип}} = K_y \cdot (Q/r)$$

де Q – кількість теплоти, що підводиться до води;

r – схована теплота пароутворення, Дж/кг;

K_y – коефіцієнт, що враховує ступінь прихованості води $K_y = 0,1 \dots 0,26$.

Для технологічного КП, де застосовують пару, звичайно приймають від 2 до 5 % від загальної витрати пари, що виробляється на підприємстві:

$$W_{\text{п}} = (0,02 \dots 0,05) \cdot G_{\text{п}}^{\text{п}}$$

2.3 Вологонадходження від інфільтрації

Вологовиділення від інфільтраційного повітря:

$$W_{\text{інф}} = G_{\text{інф}} \cdot (d_3 - d_{\text{в}})$$

де $G_{\text{інф}}$ – масова витрата повітря, кг/с;

d_3 – вологовміст зовнішнього повітря, кг/кг;

$d_{\text{в}}$ – вологовміст повітря в приміщенні, кг/кг.

3. Визначення повітропродуктивності системи забезпечення мікроклімату приміщень на судах

Для розрахунку продуктивності систем забезпечення мікроклімату величина витрати повітря $G_{\text{п}}$ приймається максимальною із величин, що розраховано за різними балансами:

- за надлишками загальної теплоти в теплий період:

$$G_1 = \frac{Q_{\text{пов}}}{(h_{\text{в}} - h_{\text{п}})}$$

- за надлишками явної теплоти в теплий період:

$$G_2 = \frac{Q_{\text{явн}}}{(t_{\text{в}} - t_{\text{п}}) \cdot C_{\text{вв}}}$$

- за вологовиділеннями:

$$G_3 = \frac{W_{\text{вл}}}{(d_{\text{в}} - d_{\text{п}})}$$

- за газовими шкідливостями, розрахункова витрата повітря в тому числі має забезпечувати відведення шкідливих виділень (продуктів метаболізму комах):

$$G_4 = \frac{G_{\text{вр}} \cdot \rho_{\text{вр}}}{(C_{\text{пдж}} - C_{\text{н}}) \cdot 3600}$$

де $Q_{\text{пов}}$, $Q_{\text{явн}}$ – повні і явні надлишки тепла в теплий період, кВт;

$t_{\text{в}}$, $h_{\text{в}}$, $d_{\text{в}}$ – температура, ентальпія і вологовміст у приміщенні, відповідно, °С, кДж/кг, кг/кг;

$t_{\text{п}}$, $h_{\text{п}}$, $d_{\text{п}}$ – теж припливного повітря;

$W_{\text{вл}}$ – надходження вологи в приміщення, кг/с;

$G_{\text{вр}}$ – розрахункова кількість газових шкідливостей, кг/год;

$C_{\text{пдк}}$ – припустима концентрація шкідливостей у робочій зоні, кг/м³;

$C_{\text{н}}$ – концентрація шкідливостей в зовнішньому повітрі, кг/м³;

$\rho_{\text{вр}}$ – щільність шкідливих речовин, кг/м³.

За максимальним значенням витрати припливного повітря визначається корисна продуктивність кондиціонера:

$$L_{\text{кд}} = \frac{3600 \cdot G_{\text{max}}}{\rho_{\text{в}}}$$

Продуктивність систем життєзабезпечення обумовлюється необхідною кількістю повітря, яка подається в приміщення для асиміляції шкідливостей і забезпечення заданих параметрів повітря в робочій зоні:

$$G = k \cdot \sum G_{\text{max}}$$

де G – продуктивність системи кондиціонування повітря, кг/год;

G_{max} – кількість припливного повітря в окреме приміщення, кг/год;

k - коефіцієнт запасу.

За повною продуктивністю обирається кондиціонер.

Після вибору кондиціонера остаточно розраховується масова витрата припливного повітря, кг/с:

$$G_{\text{заг}} = \frac{\rho_{\text{в}} \cdot L_{\text{кд}}}{3600}$$

За значеннями масової витрати надалі виконуються всі розрахунки тепломасообмінних апаратів.

4. Висновки

Представлена методика розрахунку системи життєзабезпечення відзначається суттєвими позитивними перевагами:

1. Враховує вплив всіх тепло та вологонавантажень приміщень, в тому числі від перегородок, міжповерхових перекриттів, інфільтрації, тощо.

2. Демонструє спрощену методику розрахунку теплонадходжень за рахунок сонячної радіації.

3. Витрата повітря системи оцінюється за кількома показниками, які дають змогу обрати оптимальне її значення.

4. Зроблений розрахунок дозволяє перейти до наступного етапу проектування системи життєзабезпечення – побудові процесів в *d-h* діаграмі та визначенню характеристик апаратів.

Бібліографія

1. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях // 2-е изд., перераб. и доп. — М.; Стройиздат, 1982. — 312 с.

2. Ананьев В.А. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. - М.: Евроклимат, 2000. - 416 с.

3. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлерами. - М.: Евроклимат, 2003. – 400 с.

4. Краснов Ю.С. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке. - М.: ТемокуКул, 2004. - 373 с.

5. Малова Н.Д. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию для предприятий пищевой промышленности. - М.: ТемокуКул, 2005. - 304 с.

6. Новиков В.И., Кондиционирование воздуха. Рабочая программа, методические указания, задание на контрольную работу. – М.; МГУТУ, 2007.

7. Хуторов Д.Ю. Кондиционирование воздуха. Учебно-практическое пособие для студентов специальности 0702 (система дистанционного обучения). – М.: МГУТУ, 2004.

8. Новиков В.И. Кондиционирование воздуха. Лабораторный практикум. – М., МГУТУ, 2007.

9. Бражников А.М., Малова Н.Д. Кондиционирование воздуха на предприятиях мясной и молочной промышленности. - М.: Пищевая промышленность, 1989. - 256с.

10. Бражников А.М., Малова Н.Д. Расчёты систем кондиционирования воздуха на предприятиях мясной и молочной промышленности. - М.: Агропромиздат.