

ЗАВИСИМОСТЬ ЦИКЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ОТ РЕЖИМА ЕГО РАБОТЫ

ИСКЕНДЕРОВ Р.Н., КУЛИЕВ Г.М., БАХШИЕВ А.Б., ГАЗАНФАРИ С.

Институт Физики НАН Азербайджана

Приводятся формулы для расчета продолжительности цикла, времени работы и остановки, коэффициента рабочего времени холодильной машины при различных тепловых режимах ее работы, если значения указанных характеристик известны при некотором установившемся режиме работы, например, стандартном. Названные характеристики, в частности, коэффициент рабочего времени, являются важными величинами для оценки среднесуточного расхода электроэнергии холодильником.

Представлены также безразмерные уравнения и соответствующие диаграммы, которые можно использовать для ориентировочного расчета упомянутых характеристик и качественной иллюстрации их зависимости от режима работы холодильной машины.

Расход электроэнергии определяет экономичность работы холодильной машины. Он зависит от уставки реле температуры и температуры окружающего воздуха [1].

Среднесуточный расход электроэнергии загруженной холодильной машиной, являющийся ее эксплуатационной характеристикой, включается заводом-изготовителем в его паспортные данные и, как правило, относится к некоторому стандартному режиму работы, принятому в данной стране. Фактическое же значение этого показателя, разумеется, меняется в зависимости от сезона года, климатических условий местности и страны-импортера. Поэтому немалый практический интерес представляет оценка данной характеристики для определенной местности, страны или климатических условий, но при различных режимах работы холодильной машины. Наличие таких характеристик позволило бы разработку автоматических систем регулирования режимов работы циклично работающих холодильных машин, в зависимости от различных факторов.

Решение указанного вопроса расчетным путем позволило бы отказаться от проведения трудоемких и требующих большого времени экспериментов. А основным параметром, определяющим значение упомянутых характеристик, может быть коэффициент рабочего времени цикла холодильной машины (имеется в виду временной, а не холодильный цикл) при меняющихся (но всегда установившихся) режимах его работы.

Коэффициент рабочего времени K_p определяется как отношение длительности рабочей части цикла τ_p , к длительности всего цикла τ

$$K_p = \frac{\tau_p}{\tau} ; \quad \tau = \tau_p + \tau_c , \quad (1)$$

где τ_c – время остановки за цикл.

Цикловые параметры холодильной машины τ_p , τ_c , τ и K_p могут быть определены в зависимости от температуры окружающей среды t_k и температуры в морозильной камере t_0 , если известны эти показатели при каком-либо режиме его работы, например, стандартном.

Пусть при температуре окружающей среды, равной t_{k1} и установившемся режиме работы, холодильник поддерживает в своей морозильной камере температуру, равную t_{01} . При этом время работы холодильной машины за цикл составляет t_{01} , а общая продолжительность цикла – τ_1 . Необходимо определить значения тех же параметров τ_p и τ при другом установившемся режиме, характеризующемся температурой окружающей среды, равной t_k и температурой в морозильной камере, равной t_0 .

За время выключения мотора (время остановки за цикл $\tau_c = \tau - \tau_p$) температура в морозильной камере растет на небольшую величину, определяемую нижним и верхним пределами температур, на которые реагирует температурное реле холодильной машины. Поскольку разность этих пределов есть постоянная величина, не зависящая ни от комнатной температуры, ни от температуры в морозильной камере, а влияние последних (при определенных границах их значений) на величину коэффициента теплопередачи незначительно, остается постоянным и количество теплоты Q_c , проникающей в камеру за любые значения τ_c ; т.е. $Q_c = \text{idem}$.
Учитывая это обстоятельство, а также то, что $Q_c \sim (t_k - t_0)\tau_0$, приходим к соотношению обратной пропорциональности

$$\frac{\tau_c}{\tau_{c1}} = \frac{t_{k1} - t_{01}}{t_k - t_0} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t} \quad (2)$$

Вводя обозначение $\theta = \frac{\Delta t}{\Delta t_1}$, получаем

$$\frac{\tau_c}{\tau_{c1}} = \frac{1}{\theta} \quad \text{или} \quad \tau_c = \frac{\tau_{c1}}{\theta} \quad (3)$$

Величину τ_c (а дальше и τ_p) удобно представить в долях от величины τ . Так как $\tau_{c1} = (1 - k_{p1})\tau_1$, где $k_{p1} = \frac{\tau_{p1}}{\tau_1}$, то

$$\tau_c = \frac{1 - k_{p1}}{\theta} \tau_1 \quad (4)$$

Для количества теплоты, проникающей в холодильник за всю продолжительность цикла, справедливо соотношение пропорциональности $\theta \sim (t_k - t_0)\tau = \tau \Delta t$. Благодаря тому, что режим работы установившийся, это же количество теплоты отводится от холодильной машины им же самим за время работы τ_p . Поэтому можем записать

$$Q = \frac{q_0}{v_1} \lambda V_h n^1 \tau_p \quad (5)$$

Где q_0 – удельная массовая холодопроизводительность хладагента, v_1 – удельный объем хладагента в начале процесса сжатия, λ – коэффициент подачи компрессора, V_h – суммарный объем описываемый поршнями компрессора, имеющий постоянное значение, n – частота вращения вала компрессора.

На холодильных машинах, как правило, устанавливаются асинхронные однофазные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, число оборотов которых почти не меняется с изменением нагрузки, т.е. $n = \text{idem}$. Следовательно, $Q \sim (\lambda q_0 / v_1) \tau_p$. Из двух соотношений пропорциональности для Q имеем:

$$\frac{\Delta q_0}{v_1} \tau_p \sim \tau \Delta t, \quad \text{или}$$

$$\frac{\lambda q_0 / v_1}{\lambda_1 q_{01} / v_{11}} \cdot \frac{\tau_p}{\tau_{p1}} = \frac{\tau}{\tau_1} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t_1} = \frac{\tau}{\tau_1} \cdot \theta \quad (6)$$

Вводя обозначение $\frac{\lambda q_0 / v_1}{\lambda_1 q_{01} / v_{11}} = \chi$, получаем:

$$\chi \frac{\tau_p}{\tau_{p1}} = \frac{\tau}{\tau_1} \theta, \text{ отсюда}$$

$$\frac{\tau_p}{\tau} = \frac{\theta \tau_{p1}}{\chi \tau_1} \text{ или } k_p = \frac{\theta}{\chi} k_{p1} \quad (7)$$

Далее имеем: $\tau_p = \frac{k_p \tau_c}{1 - k_p} = \frac{\frac{\theta}{\chi} k_{p1}}{1 - \frac{\theta}{\chi} k_{p1}} \cdot \frac{1 - k_{p1}}{\theta} \cdot \tau_1$ или

$$\tau_p = \frac{k_{p1}(1 - k_{p1})}{\chi - k_{p1}\theta} \tau_1 \quad (8)$$

$$\tau = \frac{\tau_p}{k_p} = \frac{\chi}{\theta \cdot k_{p1}} \cdot \frac{k_{p1}(1 - k_{p1})}{\chi - k_{p1}\theta} \tau_1 \text{ или}$$

$$\tau = \frac{\chi(1 - k_{p1})}{(\chi - k_{p1}\theta)\theta} \quad (9)$$

Рассмотрим конкретный пример. При $t_{01}=12^\circ\text{C}$, $t_{k1}=30^\circ\text{C}$, $\tau_1=7,5$ мин и $\tau_{p1}=5$ мин ($\tau_{c1}=\tau_1-\tau_{p1}=2,5$ мин), определим те же параметры и коэффициент рабочего времени при $t_k=33^\circ\text{C}$ и $t_0=-15^\circ\text{C}$. Рабочее тело R12.

По этим данным определяем $\Delta t_1=t_{k1}-t_{01}=42^\circ\text{C}$, $\Delta t=t_k-t_0=48^\circ\text{C}$; $\theta = \frac{\Delta t}{\Delta t_1} = 1,143$;

$$k_{p1} = \frac{5}{7,5} = 0,667$$

Вычислим сначала значение χ .

Принимая перегрев паров хладагента перед сжатием для первого и второго случаев $\Delta t_{n1}=25^\circ\text{C}$ и $\Delta t_n=27^\circ\text{C}$ соответственно, из диаграммы р-і таблицы насыщенных паров и жидкости для R-12 [2], берем значения параметров характерных точек цикла по известным значениям температур (переохлаждение жидкости после конденсатора устанавливается из теплового баланса).

Диаграммы р-і обоих холодильных циклов приведены на рис.1.

$$t_{11} = t_{01} + \Delta t_{n1}; \Delta i_1 = i_{11}'' - i_{11}''; i_{31} = i_{41} = i_{31}' - \Delta i_1; q_{01} = i_{11}'' - i_{41}; t_1 = t_0 + \Delta t_n; \Delta i = i_1 - i_1'';$$

$$i_3 = i_4 = i_3'' - \Delta i; q_0 = i_1'' - i_4$$

Для некоторой универсальности при расчетах значения индикаторного коэффициента (λ_i) был принят при $\Delta P_k = \Delta P_0 = 0,008$ МПа, а коэффициента вредного пространства $c = 0,005$.

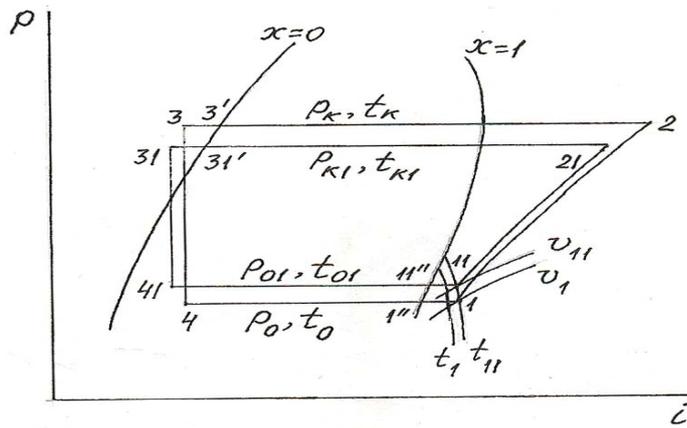


Рис. 1

Используя методику, приведенную в [3], определяем $\lambda_{i1}=0,827$; $\lambda_i=0,786$.

Коэффициенты подогрева $\lambda_{w1} = \frac{T_k}{T_1} = 0,861$; $\lambda_w = \frac{T_0}{T_k} = 0,843$

Коэффициенты подачи

$$\lambda_1 = \lambda_{i1} \cdot \lambda_{w1} = 0,72; \quad \lambda = \lambda_i \cdot \lambda_w = 0,786 \cdot 0,843 = 0,663$$

$$\frac{\lambda_1 q_{01}}{v_{11}} = 1030,1 \text{ кДж/кг}; \quad \frac{\lambda q_0}{v_1} = 980,9 \text{ кДж/кг} \text{ и } \chi = \frac{\lambda q_0 / v_1}{\lambda_1 q_{01} / v_{11}} = 0,865.$$

Затем вычисляем искомые величины:

$$K = \frac{\theta}{\chi} k_{p1} = 0,881; \quad \tau_c \frac{\tau_{c1}}{\theta} = 2,19 \text{ мин}; \quad \tau_p = \frac{k_p}{1-k_p} \tau_c = 16,17 \text{ мин}; \quad \tau = \tau_p + \tau_c = 18,36 \text{ мин}.$$

Если интервал температур (t_0, t_k) одного из циклов целиком лежит, как и в рассматриваемом примере, внутри другого, то величина $\lambda q_0 / v_1$ у «внутреннего» цикла всегда больше, чем у «внешнего», т.е. чем больше разность температур $(\Delta t = t_k - t_0)$, тем меньше $\lambda q_0 / v_1$ (в частных случаях одно из границ температур t_0 или t_k у обоих циклов могут совпадать). Ориентировочно можно принять, что

$$\frac{\lambda q_0}{v_1} \sim \frac{1}{\Delta t} \text{ или } \frac{\lambda q_0 / v_1}{\lambda_1 q_{01} / v_{11}} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t};$$

т.е.

$$\chi = \frac{1}{\theta} \quad (10)$$

Учитывая равенство в (5) в уравнении (7), и решая последние относительно θ , получим:

$$\theta = \frac{\Delta t}{\Delta t_1} = \sqrt{\frac{k_p}{k_{p1}}}, \text{ или } \Delta t = \sqrt{\frac{k_p}{k_{p1}}} \Delta t_1 \quad (11)$$

При максимально возможной разности температур Δt_{\max} (для данной холодильной машины) $k_p = 1$ и холодильная машина будет работать непрерывно. Учитывая это, получим:

$$\Delta t_{\max} = \sqrt{\frac{1}{k_{p1}}} \Delta t_1 \quad (12)$$

Введем новое обозначение

$$\Theta = \frac{\Delta t}{\Delta t_{\max}}, \quad \text{тогда} \quad \Theta = \frac{\Delta t / \Delta t_1}{\Delta t_{\max} / \Delta t_1} = \frac{\theta}{\sqrt{1/k_{p1}}}, \quad \text{или} \quad \Theta = \sqrt{k_{p1}} \theta \quad (13)$$

$$\text{и} \quad \theta = \frac{\Theta}{\sqrt{k_{p1}}} \quad (13 \text{ a})$$

Из равенств (11) и (13) получаем

$$\sqrt{k_p} = \Theta \quad \text{или} \quad k_p = \Theta^2 \quad (14)$$

Учитывая равенств (10) и (13a) в уравнениях (14), (18) и (9), после преобразований получим:

$$\tau_c = \frac{\sqrt{k_{p1}}(1 - k_{p1})}{\Theta} \tau_1 \quad (15)$$

$$\tau_p = \frac{\sqrt{k_{p1}}(1 - k_{p1})\Theta}{1 - \Theta^2} \tau_1 \quad \text{и} \quad (16)$$

$$\tau = \frac{\sqrt{k_{p1}}(1 - k_1)}{\Theta - (\Theta^3)} \tau_1 \quad (17)$$

Исследование функции $\tau = \tau(\Theta)$, представленной уравнением (17) на экстремум, показывает, что она имеет минимум при $\Theta = \frac{\sqrt{3}}{3}$; тогда

$$\tau_{\min} = \frac{3\sqrt{3}}{2} \sqrt{k_{p1}}(1 - k_{p1})\tau_1 \quad (18)$$

Введем безразмерные величины $T_c = \frac{\tau_c}{\tau_{\min}}$; $T_p = \frac{\tau_p}{\tau_{\min}}$ и $T = \frac{\tau}{\tau_{\min}}$. Деля выражения (15)÷(17) на (18), получаем безразмерное уравнения

$$T_c = \frac{2\sqrt{3}}{9\Theta}; \quad T_p = \frac{2\sqrt{3}\Theta}{9(1 - \Theta^2)} \quad \text{и} \quad T = \frac{2\sqrt{3}}{9(\Theta - \Theta^3)} \quad (19; 20; 21)$$

Уравнения (19; 20; 21), а также построенные по ним диаграммы (рис.2) качественно хорошо иллюстрируют зависимости соответствующих величин от теплового режима

работы холодильной машины. Заметим, что эти безразмерные уравнения и диаграммы можно использовать и для ориентировочной оценки величин $\tau, \tau_p, \tau_c, k_p$.

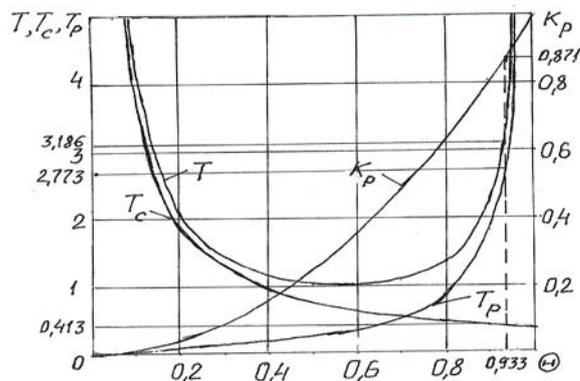


Рис. 2

В этом можно убедиться на примере вышеприведенной задачи.

Можно отметить сразу, что оценка величины χ по формуле (10) дает расхождения от ее действительного значения всего на 1,16%

$$\chi \approx \frac{1}{\theta} = \frac{1}{1,143} = 0,875; \quad \delta = \frac{0,875 - 0,865}{0,865} \cdot 100 = 1,16\%.$$

Вычислим Θ по формуле (13):

$$\Theta = \sqrt{k_{p1}} \cdot \theta = \sqrt{0,667} \cdot 1,143 = 0,933,$$

а значение k_p рассчитываются по формуле (14), или же можно принимать из диаграммы:

$$k_p = \Theta^2 = 0,871; \quad \text{Расхождения} \frac{|0,871 - 0,881|}{0,881} \cdot 100 = 1,14\%$$

τ_{\min} можно вычислить по формуле

$$\tau_{\min} = \frac{3\sqrt{3}}{2} \sqrt{k_{p1}} (1 - k_{p1}) \tau_1 = \frac{3\sqrt{3}}{2} \sqrt{0,667} \cdot (1 - 0,667) \cdot 7,5 = 5,303 \text{ мин.}$$

Вычисляем значения T_c, T_p , и T по формулам (19÷21)

$$T_c = \frac{2\sqrt{3}}{9\Theta} = \frac{2\sqrt{3}}{9 \cdot 0,993} = 0,413;$$

$$T_p = \frac{2\sqrt{3} \cdot \Theta}{9(1 - \Theta^2)} = \frac{2\sqrt{3} \cdot 0,933}{9(1 - 0,933^2)} = 2,773;$$

$$T = \frac{2\sqrt{3}}{9(\Theta - \Theta^3)} = \frac{2\sqrt{3}}{9(0,433 - 0,433^3)} = 3,186.$$

Вычисляем τ_c, τ_p и τ

$$\tau_c = T_c \cdot \tau_{\min} = 0.413 \cdot 5,303 = 2,19 \text{ мин (Расхождение 0\%)}$$

$$\tau_p = T_p \cdot \tau_{\min} = 2,773 \cdot 5,303 = 14,71 \text{ мин}$$

$$\text{(Расхождение } \frac{|14,71 - 16,17|}{16,17} \cdot 100 = 9,03\%);$$

$$\tau = \tau_c + \tau_p = 16,9 \text{ мин (Расхождение } \frac{|16,90 - 18,36|}{18,36} \cdot 100 = 7,95\%)$$

Как видно, расхождения у величин τ_p и τ получились относительно большими. Поэтому при точных расчетах следует пользоваться уравнениями (4)÷(9).

1. Малые холодильные установки и холодильный транспорт. Холодильная техника. Справочник. Под Ред. А.В. Быкова, Пищевая промесь., 1978, 240 с.
2. С.Н.Богданов, О.П.Иванов и др. Холодильная техника, Свойства веществ. Справочник. Л.М., 1976 г., 166 стр.
3. Холодильные машины. Под. Ред. И.А. Сакуна, Л.М., 1985 г. 512 стр.

SOYUDUCU AGREGATIN TSİKLİK XARAKTERİSTİKALARININ ONUN İŞ REJİMİNDƏN ASILILIĞI

İSGƏNDƏROV R.N., QULİYEV N.M., BAXŞIYEV A.V., QƏZƏNFƏRİ S.

Məqalə soyuducu agregatın hər hansı qərarlaşmış, məsələn, standart iş rejimində tsiklik xarakteristikalarının məlum qiymətlərinə əsasən bu xarakteristikaların-tsiklin davamiyyəti, işləmə və dayanma müddəti, eləcə də iş vaxtı əmsalının-istənilən digər iş (istilik) rejimində təyin edilməsi üçün düsturlar verilmisdir.

Göstərilən xarakteristikalar, xüsusilə iş vaxtı əmsalı, soyuducunun orta sutqalıq enerji sərfinin qiymətləndirilməsi üçün vacib kəmiyyətlərdir.

Həmçinin, ölçüsüz tənliklər və müvafiq diaqramlar təqdim olunur ki, onların vasitəsilə adı çəkilən xarakteristikaların təxmini qiymətlərini hesablamaq və bu parametrlərin soyuducunun iş rejimindən asılılığını keyfiyyət cəhətcə nümayiş etdirmək mümkündür.

DEPENDENCE CYCLICAL PERFORMANCES OF COOLER FROM ITS OPERATION REGIME

İSKANDAROV R.N., QULİYEV H.M., BAKSHIYEV A.B., GHAZANFARI S.

At the article give the formules for calculation of duration of a cycle, operating time and stopping, colefficient of working hours of a cooler at varions thermal regime of its operation, if the values of the specified performances are known at some steady-stated regime of operations, for example, at the standard.

The termed performances, in particular coefficient of working hours are the important quantites for an estimation of the daily average rate of flux of the electricpower by a cooler.

The dimensionless equations and relavant diagrams are submitted also wich can be used for rough calculation of the mentionet performances and qualitative illustrations of their dependense from regime of operations of a cooler.