

УДК 621.56/59

Ю.А. Очеретяный

Одесская национальная морская академия, ул. Дидрихсона, 8, г. Одесса, 65029

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с определением отклонений и характера неисправностей судовых холодильных установок по определяемым изменениям теплотехнических характеристик в процессе их эксплуатации.

Ключевые слова: Теплотехнические характеристики – Реальный цикл – Судовая холодильная установка

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДХИЛЕНЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СУДОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті розглянуті питання, пов'язані з визначенням відхилень і характеру несправностей судових холодильних установок по визначеним змінам теплотехнічних характеристик в процесі їх експлуатації.

Ключові слова: Теплотехнічні характеристики – Реальний цикл – Судова холодильна установка

DETERMINATION OF SHIP REFRIGERATION PLANT FUNCTIONING DEVIATIONS DURING OPERATION

The issues related to the definition of deviations and nature of the failure of ship refrigeration plants defined by changes in the thermal characteristics in the process of their operation are considered in the article.

Keywords: Thermal performance – Real cycle – Ship refrigeration plant

I. ВВЕДЕНИЕ

Вопросы своевременного и корректного диагностирования, и как следствие квалифицированного технического обслуживания и ремонта рефрижераторного оборудования судна в условиях отдаленности от береговых сервисных служб становятся особо актуальными. Заключительным этапом диагностирования судовых холодильных установок (СХУ) является определение отклонений функционирования и характера неисправности по определенному изменению теплотехнических

характеристик в процессе их эксплуатации. Исследуя реальный цикл путем определения термодинамических параметров в характерных точках СХУ, можно оценить отклонения $lg P-h$ диаграммы от нормы и, исходя из этого, определить характер неисправности. Практически измеряются температура и давление в характерных точках холодильной машины, ток двигателя компрессора, перегрев испарителя, переохлаждение конденсатора, и т.д. (табл.1)

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**Таблица 1** – Определение изменений теплотехнических характеристик реального цикла СХУ

Теплотехническая величина	Расчетная формула или способ определения, единица измерения	Числовое значение и сравнение реальной и нормально-допустимой величин	Числовое значение и вектор отклонения реальной величины
Давление всасывания компрессора $(P_{вс})=(P_0)$.	Измеряется на всасыв. линии компрессора, бар.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Давление нагнетания компрессора $(P_{н})=(P_{к})$.	Измеряется на нагн. линии компрессора, бар.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Температура всасывания компрессора $(T_{вс})=(T_1)$	Измеряется на всасыв. линии компрессора, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$

Продолжение таблицы 1

Температура нагнетания компрессора (T_H)= (T_2)	Измеряется на нагн. линии компрессора, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Температура ХА перед ТРВ (T_5)	Измеряется на жидкостной линии перед ТРВ, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Температура заборной воды на входе в конд. (t_{w1}).	Измеряется на линии подачи заборной воды в конденсатор, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Температура заборной воды на выходе из конд. (t_{w2}).	Измеряется на линии выхода заборной воды из конденсатора, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Температура кипения хол. агента (T_0).	Измеряется на ребре испарителя, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Температура воздуха в холодильной камере ($t_{кам}$)	Измеряется в воздушном пространстве камеры, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Давление кипения (P_0).	Из построеного цикла $P_0=f(T_0)$, бар.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Давление конденсации (P_k).	Из построеного цикла $P_k=f(T_k)$; $T_k = t_{w2} + 3$, бар.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Температура кипения (T_0).	Из постр. цикла $T_0=f(P_0)$, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Температура конденсации (T_k).	Из постр. цикла $T_k=f(P_k)$, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Величина перегрева перед компрессором	$SH = t_1 - t_7$, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Величина переохлаждения за конденсатором	$SC = t_4 - t_5$, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Удельная массовая холодопроизводительность.	$q = h_7 - h_6$, кДж/кг.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Удельная объемная холодопроизводительность.	$q_v = q_0 / v_1$, кДж/м ³ .	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Удельная работа сжатия в компрессоре	$A_w = h_2 - h_1$, кДж/кг.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Массовая подача хладагента	$G_0 = 3600 \cdot Q_0 / q_0 = \alpha P_{вал.} / l$, кг/час.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Часовой объем пара хладагента всасываемого компрессором	$V = G_0 \cdot v_1$, м ³ /час.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Часовой объем описанный поршнями компрессора	$V_h = V_0 / \lambda$, м ³ /час.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Степень сжатия в компрессоре	P_k / P_0	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Коэффициент подачи компрессора	$\lambda = [1 - C(P_k/P_0 - 1)] \cdot T_0 / T_k$ $C = 0,015 \dots 0,05$	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Холодопроизводительность	$Q_0 = G_0 \cdot q_0$, кВт.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$

На рисунке 1 представлена упрощенная схема одноступенчатой компрессионной СХУ. Характерные точки отмечены цифрами от 1 до 7.

Далее приведены отклонения *lg P-h* диаграммы от нормы на основных элементах СХУ и причины этих отклонений (неисправностей):

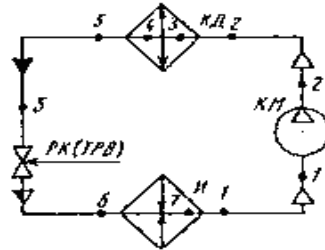


Рисунок 1 – Упрощенная схема СХУ

КМ-компрессор; *КД*-конденсатор; *ТРВ* – терморегулирующий вентиль; *И* - испаритель.

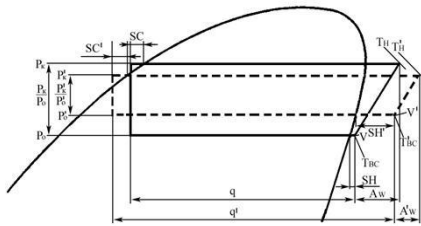


Рисунок 2 – *lg P-h* диаграмма при неисправности компрессора

Таблица 2 – Изменение параметров при неисправности компрессора

$P_0 \uparrow$	$P_k \downarrow$	$T_{кв} \uparrow$	$T_{и} \uparrow$	$SH \uparrow$	$SC = const$	$q \uparrow$	$A_w \downarrow$	$P_k / P_0 \downarrow$	$V \downarrow$
----------------	------------------	-------------------	------------------	---------------	--------------	--------------	------------------	------------------------	----------------

1. «Слабый» компрессор.

На рисунке 2 представлен случай, когда давление конденсации ниже нормы, в то время как давление кипения превышает допустимое значение. Подобное может происходить из-за неисправности клапанов на нагнетательной или на всасывающей линии компрессора.

Несмотря на то, что степень сжатия понижается, холодопроизводительность увеличивается благодаря тому, что цикл сжатия в компрессоре сокращается.

2. «Слабый» конденсатор.

Причинами «слабого» конденсатора могут быть: недостаточное количество охлаждающей воды; высокая температура охлаждающей воды; загрязнение или частичная закупорка; наличие в системе воздуха или неконденсирующихся газов; перезаправка хладагентом.

Неисправности, которые могут возникнуть при «слабом» конденсаторе: срабатывание реле высокого давления; увеличение рабочего тока, перегрев, и отказ компрессора; появление пузырьков газа в жидкой фракции хладагента (наблюдается в смотровом стекле на жидкостной линии); пульсации температуры на выходе ТРВ; снижение холодопроизводительности.

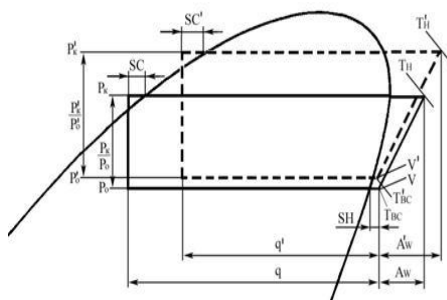


Рисунок 3 – Цикл в *lg P-h* диаграмме при «слабом» конденсаторе

Таблица 3 – Изменение параметров при «слабом» конденсаторе

$P_0 \uparrow$	$P_k \uparrow$	$T_{кв} \uparrow$	$T_{и} \uparrow$	$SH = const$	$SC = const$	$q \downarrow$	$A_w \uparrow$	$P_k / P_0 \uparrow$	$V \uparrow$
----------------	----------------	-------------------	------------------	--------------	--------------	----------------	----------------	----------------------	--------------

3. Перезаправка СХУ хладагентом.

Характерными отклонениями при перезаправке хладагентом являются: повышение давления конденсации; повышение температуры нагнетания; увеличение переохлаждения.

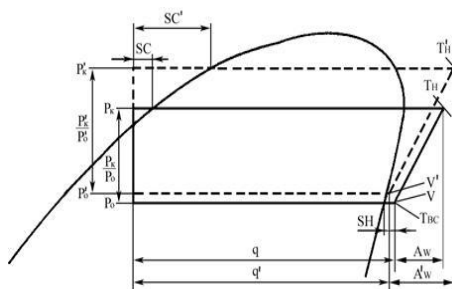


Рисунок 4 – *lg P-h* диаграмма при перезаправке холодильной машины хладагентом

Таблица 4 – Изменение параметров при перезаправке холодильной машины хладагентом

$P_0 \uparrow$	$P_k \uparrow$	$T_{кв} = const$	$T_{и} \uparrow$	$SH \uparrow$	$SC \uparrow$	$q = const$	$A_w \uparrow$	$P_k / P_0 \uparrow$	$V \uparrow$
----------------	----------------	------------------	------------------	---------------	---------------	-------------	----------------	----------------------	--------------

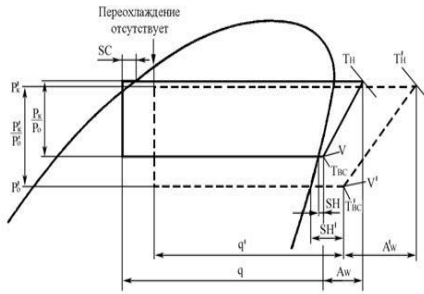


Рисунок 5 – lg P-h диаграмма при недостаточном количестве хладагента

Таблица 5 – Изменение параметров при недостаточном количестве хладагента

$P_0 \downarrow$	$P_k \downarrow$	$T_{вс} \uparrow$	$T_n \uparrow$	$SH \uparrow$	$SC \downarrow$	$q \downarrow$	$A_w \uparrow$	$P_k / P_0 \uparrow$	$V \uparrow$
------------------	------------------	-------------------	----------------	---------------	-----------------	----------------	----------------	----------------------	--------------

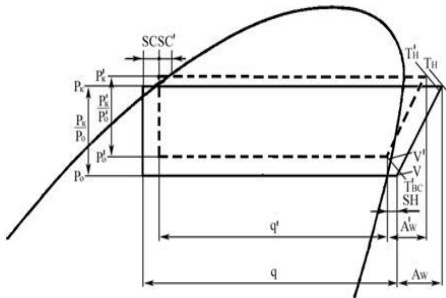


Рисунок 6 – lg P-h диаграмма при неправильной настройке TRV

4. Недостаточное количество хладагента в СХУ.

Характерными отклонениями при недостаточном количестве хладагента lg P-h диаграммы являются: снижение давления кипения; снижение или полное отсутствие переохлаждения.

Неисправности, которые могут возникнуть при недостаточном количестве хладагента: срабатывание реле низкого давления; отказ компрессора; снижение холодопроизводительности; уменьшение рабочего тока компрессора.

5. Неправильная настройка или неисправность TRV.

Недостаточное количество хладагента, проходящее через TRV, приводит к снижению давления кипения и повышению переохлаждения. Причиной этого может быть: засорение фильтра TRV и фильтра-осушителя; неправильная настройка или неисправность TRV.

Неисправности, которые могут возникнуть при недостаточном количестве хладагента, проходящем через TRV: срабатывание реле низкого давления; отказ компрессора; снижение холодопроизводительности; уменьшение рабочего тока компрессора.

Слишком большой поток хладагента, проходящий через TRV, приводит к повышению давления кипения (рисунок 7).

Причины могут быть следующими: неточно отрегулирован TRV; неправильно установлен термобаллон TRV.

Неисправности, которые могут возникнуть из-за избыточного количества хладагента в установке, использующей TRV в качестве регулятора потока хладагента: отказ компрессора; снижение холодопроизводительности; уменьшение рабочего тока компрессора; срабатывание реле высокого давления.

Таблица 6 – Изменение параметров при неправильной настройке TRV

$P_0 \uparrow$	$P_k \uparrow$	$T_{вс} = const$	$T_n \downarrow$	$SH \downarrow$	$SC \downarrow$	$q \downarrow$	$A_w \downarrow$	$P_k / P_0 \downarrow$	$V \downarrow$
----------------	----------------	------------------	------------------	-----------------	-----------------	----------------	------------------	------------------------	----------------

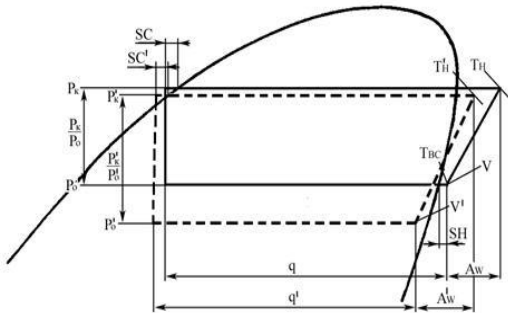


Рисунок 7 – lg P-h диаграмма при «слабом» испарителе

Таблица 7 – Изменение параметров при «слабом» испарителе

$P_0 \downarrow$	$P_k \uparrow$	$T_{вс} \downarrow$	$T_n \downarrow$	$SH \downarrow$	$SC = const$	$q \downarrow$	$A_w \uparrow$	$P_k / P_0 \uparrow$	$V \uparrow$
------------------	----------------	---------------------	------------------	-----------------	--------------	----------------	----------------	----------------------	--------------

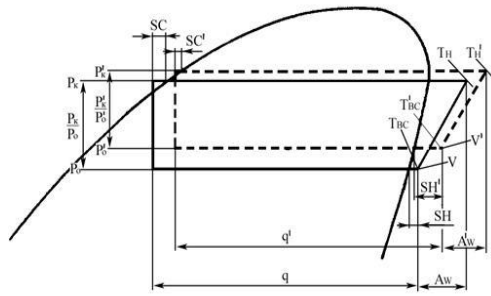


Рисунок 8 – lg P-h диаграмма при повышенных теплопотоках

Таблица 8 – Изменение параметров при повышенных теплопотоках

$P_0 \uparrow$	$P_k \uparrow$	$T_{ac} \uparrow$	$T_n \uparrow$	$SH \uparrow$	$SC \downarrow$	$q=const$	$A_w \uparrow$	$P_k / P_0 \downarrow$	$V \downarrow$
----------------	----------------	-------------------	----------------	---------------	-----------------	-----------	----------------	------------------------	----------------

III. ВЫВОДЫ

1. Исследование действительного цикла СХУ путем определения термодинамических параметров в характерных точках позволяет определить изменения теплотехнических характеристик в процессе ее эксплуатации.

2. Определение изменений теплотехнических характеристик СХУ в процессе эксплуатации позволяет оценить отклонения lg P-h диаграммы от нормы, и исходя из этого определить характер конкретной неисправности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Очеретяный Ю.А, Живица В.И, Белый В.Н, Онищенко О.А, Вайнфельд Э. И. Концепция системы компьютерного мониторинга и технической диагностики рефрижераторной установки судна. / - Судовые энергетические установки .- 2011.- №28. С. 5-11.

7. Повышенный теплоприток.

Перегрузка по отбору холода (повышенный теплоприток) может вызывать снижение переохлаждения, повышение давления кипения (рисунок 8, таблица 8).

Причины перегрузки могут быть следующие: работа установки в условиях постоянного отбора холода (повышенный теплоприток); неправильный подбор оборудования (недостаточная холодопроизводительность).

2. Соломатин С.Я. Основы технической диагностики. / – Одесса: ОНМУ, 2007. – 80 с.

3. Загоруйко В.А, Загорученко В.А. Рабочие вещества холодильных машин рефрижераторных транспортов и газозовов. – М.: Мортехинформреклама, 1985. – 40 с.

4. Петров Ю.С. Судовые холодильные машины и установки: – Л.: Судостроение, 1991. – 400 с.

5. Загоруйко В.А. Судовая холодильная техника / В.А. Загоруйко, А.А. Голиков. – К.: Наукова думка, 2000. – 607 с.

6. Слынько А.Г., Очеретяный Ю.А. Эксплуатация судовых холодильных установок и систем кондиционирования воздуха.- Практикум по выполнению лабораторных работ. ОНМУ. Одесса. 2010 г. С. 3-165.

Получена в редакции 27.05.2013, принята к печати 04.06.2013