

ОЦЕНКА ЭМИССИИ ХЛАДАГЕНТА ИЗ ХОЛОДИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СУДНА

А.С. Черкашин – Гипрорыбфлот

Хладагенты R12 и R22, применяемые в настоящее время в судовых холодильных установках (СХУ) в качестве рабочих тел, оказывают негативное влияние на атмосферу Земли. В результате эмиссии в атмосферу они способствуют разрушению стратосферного озона и увеличению парникового эффекта [1].

Экологическая оценка любого хладагента включает два параметра: потенциал разрушения слоя озона ODP (Ozon Depletion Potential) и потенциал парникового эффекта GWP (Global Warming Potential). Значения этих параметров относительно хладагента R11 условно приняты за 1. Для R12 и R22 они составляют 1, 3,1 и 0,05, 0,34 соответственно [2].

Известно, что с 1998 г. производство R12 в России будет прекращено, а с 2004 г. производство R22 намечается ограничить во всех странах.

Для учета экологических факторов следует использовать эколого-экономический критерий, оценивающий экономический ущерб от загрязнения окружающей среды:

$$\Delta = B - E_n (K + Y_k) - Y_3 - C, \quad (1)$$

где B – экономическая выгода от холодильной установки в результате полезных воздействий (малые потери сырья при холодильной обработке, сохранение качества продукции и т.д.); E_n – нормативный коэффициент окупаемости капитальных затрат; K, C – капитальные затраты на создание холодильной установки и эксплуатационные расходы при ее функционировании; Y_k – экономический ущерб от загрязнения окружающей среды при изготовлении холодильного оборудования и его монтаже на судне; Y_3 – то же, при эксплуатации СХУ и после ее окончания.

Для анализа общего потенциала парникового эффекта можно использовать параметр, называемый суммарным эквивалентным тепловым воздействием TEWI, который представляет собой сумму непосредственного потенциала парникового эффекта в результате эмиссии хладагента в атмосферу и косвенного, обусловленного эмиссией диоксида углерода в процессе производства электроэнергии, которая необходима для эксплуатации холодильной установки. Величина TEWI от эксплуатации СХУ в значительной степени зависит от свойств и количества используемого хладагента, герметичности системы, режимов и продолжительности работы, способа производства электроэнергии.

Общий эквивалент TEWI рассчитывают по формуле [3]:

$$TEWI = (GWP) G + LB_1, \quad (2)$$

где GWP хладагента по отношению к CO_2 ($GWPCO_2 = 1$); G – общая масса выпущенного в атмосферу хладагента, кг; L – масса выпущенного в атмосферу CO_2 при генерировании электроэнергии, кг $CO_2/(кВт \cdot ч)$; B_1 – расход электроэнергии СХУ на протяжении срока службы, кВт \cdot ч.

Ввиду того что на судне электроэнергия производится в результате сжигания топлива, величина $L \approx 0,8$ кг $CO_2/(кВт \cdot ч)$ зависит от района плавания судна.

ODP и GWP учитываются только тогда, когда хладагенты попадают в атмосферу в результате утечек из холодильных систем.

Из-за многообразия проектных решений СХУ аналитическое решение общей величины эмиссии хладагента из холодильной системы представляет трудную задачу. В этой работе сделана попытка оценить эту величину вероятностным методом для конкретной холодильной установки по типу судна. В целях моделирования удобно считать расход хладагента непрерывной случайной величиной.

Для решения поставленной задачи были использованы и систематизированы исходные данные по расходу R12 и R22 за 1972–1992 гг. судов трех типов – БМРТ «Маяковский» (а), ТР «Сибирь» (б) и БМРТ «Прометей» (в), длительный срок наблюдения за эксплуатацией которых (около 15–20 лет) позволил получить достаточно обширный материал непрерывной статистической информации. При его анализе учитывались также сведения о периодичности ремонтов СХУ.

Для удобства расчетов статистическую информацию представляли в виде динамических рядов величин среднесуточного расхода (кг/сут) или среднечасового расхода хладагента (г/ч) для однотипных холодильных установок. При этом предполагалось, что в промежутке от τ_1 до τ_2 моментах первичной и последующей зарядки хладагента в систему потери его из СХУ составляли $G = f(\tau) = \text{const}$.

При выборе закона распределения потерь G для упрощения расчета предположили, что истинное распределение аппроксимируется нормальным законом. Математическое описание оказалось некорректным, так как распределения были явно асимметричны. Об этом свидетельствовали значительные коэффициенты асимметрии, эксцесса и вариации.

Преодолеть эту сложность стало возможным, когда рассматривались не величины потерь, а их логарифмы, полагая, что эти величины распределены нормально. Проверялась гипотеза согласия опытного распределения по критериям Пирсона χ^2 и W [4].

Аппроксимация выравненных кривых показала, что потери хладагентов из систем СХУ хорошо описываются логарифмически нормальной функцией

$$f(G) = N/(\sigma\sqrt{2\pi}) \cdot \exp[-(\ln G_1 - \ln G_m)^2/2\sigma^2]/G_1, \quad (3)$$

где G_1 – текущий расход хладагента; σ – среднеквадратичное отклонение нормального распределения величин $\ln G_1$; G_m – параметр распределения, удовлетворяющий соотношению $\ln G_1 \in \ln G_m$, при этом $\ln G_m$ соответствует усреднению по генеральной совокупности значений расхода; N – объем статистической выборки, равный числу заправок хладагента в систему за период эксплуатации судна (для судов типа а – 267, б и в – 245).

Условие нормирования функции распределения (3)

$$\int_0^{G_1} f(G) dG = P(G). \quad (4)$$

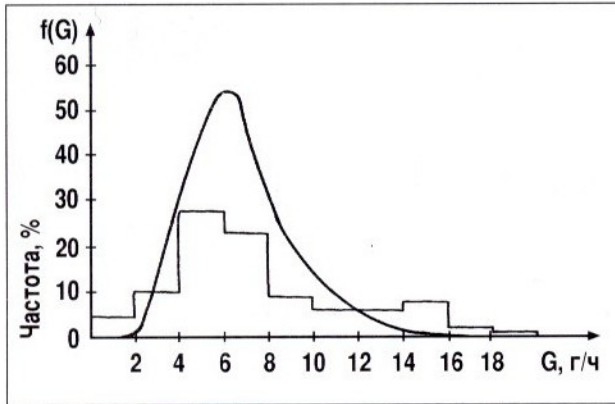


Рис. 1. Гистограмма распределения потерь R12

Таблица 1

Параметр	Коэффициенты				Погрешность, %, не более
	d	b	k	n	
БМРТ "Маяковский"					
G _m	3,18040	0,15820			4,0
σ			1,02667	0,01078	2,6
ТР "Сибирь"					
G _m	4,51770	0,29510			6,0
σ			1,08870	0,00880	6,0
БМРТ "Прометей"					
G _m	32,60769	0,28742			5,0
σ			1,06736	0,00929	5,0

На рис. 1 приведена гистограмма распределения потерь R12 для судов типа а. Каждый диапазон разделен на десять интервалов. Аппроксимация выравненных эмпирических кривых логарифмически нормальным законом показала, что вероятность соответствия по критерию χ^2 изменяется для судов типа а 0,073–0,170, б – 0,018–0,170 и в – 0,151–0,267. Проверка гипотезы распределения по критерию W(0,950–0,957) подтвердила, что функция плотности распределения не противоречит логарифмически нормальному закону.

Для каждого интервала по типу судна были рассчитаны параметры G_m и σ. Изменения G_m и σ от средней линии показаны на рис. 2, которые могут быть описаны уравнениями

$$y = d \exp(bx), \quad (5)$$

$$y_1 = kx^n, \quad (6)$$

где x = 1...10 – число интервалов; d, b, k и n – рассчитанные эмпирические коэффициенты, приведенные в табл. 1.

Анализ расчетных данных по формулам (5) и (6) показывает, что относительные потери (к массе зарядки в системе, %) наиболее быстро растут для судов типа а, имеющих меньшую массу рабочего тела в системе.

Математическое ожидание величины эмиссии хладагента из системы СХУ (г/ч) по типу судна определяется из выражения

$$\mu = \exp(\ln G_m + \sigma^2/2). \quad (7)$$

Таблица 2

Показатель	Тип СХУ		
	производственных кладовых (суда типа а)	производственных кладовых (суда типа б)	производственная (суда типа в)
Хладагент	R12	R12	R22
Масса хладагента в системе, кг	22	100	4900
μ, г/ч	6,6455	27,0330	201,7421
Доверительный интервал, г/ч	5,61 < μ < 7,69	23,73 < μ < 28,21	154,54 < μ < 206,0

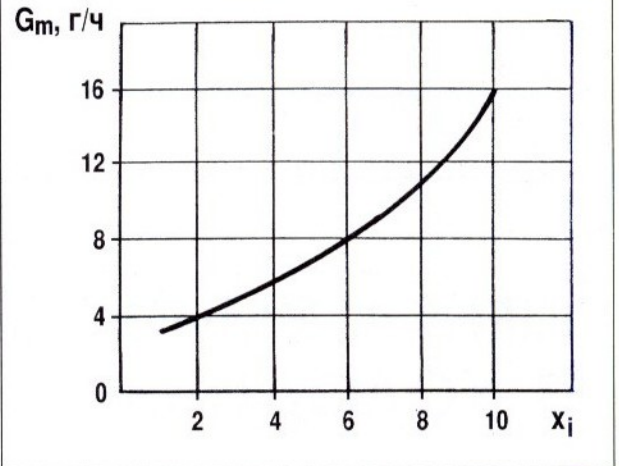


Рис. 2. Изменение параметра распределения G_m потерь R12

Поскольку опытная выборка не полностью отражает все множество значений случайной величины потерь, то при использовании логарифмически нормального закона осуществлена оценка параметров и определены границы доверительного интервала для математического ожидания μ при доверительной вероятности 0,95 (табл. 2).

Расхождение расчетной величины μ от фактической среднегодовой расхода рабочего тела составляет по разным рыбохозяйственным организациям 2–8 % (при числе объектов наблюдения N_i > 10).

Функция распределения потерь представлена на рис. 3.

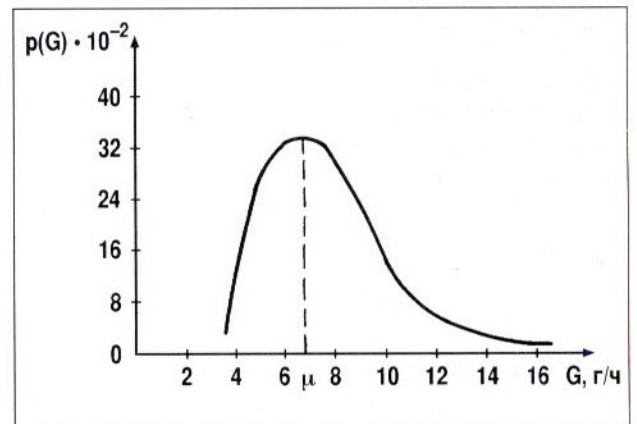


Рис. 3. Функция распределения потерь R12

Использование вероятностей модели позволяет учесть эксплуатационный расход хладагента при функционировании холодильной установки и экономический ущерб от его утечки в окружающую среду.

Следовательно, приоритетными направлениями должны быть меры по снижению утечек и выпуска хладагентов в атмосферу. Поэтому повышение надежности холодильного оборудования, уплотнение систем, регенерация хладагентов и их повторное использование в циклах могут значительно снизить не только тепляющий эффект, но и разрушающее действие R12 и R22 на слой озона в стратосфере.

Литература

1. Данилов А.Д., Кароль И. Х. Атмосферный озон – сенсация и реальность. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991.
2. Таубман Е.И., Бодюл О.И. Экологические проблемы холодильной техники // Холодильная техника и технология. – Киев, 1990. Вып. 51.
3. Девятое информационное сообщение МИХ // Холодильная техника. 1994. № 1.
4. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. – М.: Мир. 1969. – 396 с.