

692,50

# АНАЛИЗ УТЕЧЕК ХЛАДАГЕНТА ИЗ СИСТЕМЫ СУДОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

**А.С. Черкашин – Гипрорыбфлот**

**П**рактика эксплуатации судовых холодильных установок (СХУ) показала, что эмиссия хладагентов (R22, R717, R12) из систем неизбежна. В течение 15–20 лет на судах промышленного флота бывшего СССР выявлялись наиболее слабые места холодильного контура, статистически обрабатывались данные по отказам холодильного оборудования и потерям хладагента. Полученная выборка статистики 600 отказов по утечкам R22 за два года эксплуатации СХУ восьми типов судов представлена на рис. 1. Для анализа утечек использовали данные по морозильным траулерам типов «Иван Бочков», «Прометей», «Спрут», «Родина» и транспортным рефрижерата-

рам типов «Радужный», «50 лет СССР», «Карл Либкнехт» и «Татарстан».

Основная доля неисправностей (отказов) возникает в системе охлаждения хладагентом: арматура, трубопроводы и манометры дают 75 % общих неисправностей, насосы хладагента – 8,5, предохранительные клапаны и маслоохладители – по 4, морозильные аппараты без учета отказов в трубопроводах – 3, теплообменники и фильтры-осушители – 5,5 %.

Для оценки герметичности системы каждой СХУ исследовали особенности производства элементов установок, отличающихся конструкцией, родом и давлением действующих на них веществ, а также условиями эксплуатации. Установлено, что суда по назначению, типу СХУ, роду хладагента и в зависимости от принятых расчетных параметров имеют различную эмиссию рабочего вещества из системы в окружающую среду. В процессе исследования выявлены основные причины образования дефектов на разных стадиях изготовления оборудования и его дальнейшей эксплуатации. Анализ полученных данных показывает, что основными причинами утечек являются конструктивные недостатки оборудования и систем, их низкая технологичность, а также неудовлетворительная надежность изготовления и контроля (Черкашин, 1986). Под технологичностью в данном случае подразумевается приспособленность отдельных конструктивных узлов СХУ к условиям модульно-агрегатного механизированного производства, создание унифицированной модульной элементной базы в виде системы типоразмерных рядов сборочных единиц трубопроводов, коллекторов, станций распределения хладагента. Появлению дефектов в контролируемой системе способствуют вибрация, коррозия, эрозия, влага, воздух и неконденсирующиеся газы, продукты износа.

Большинство СХУ характеризуется типичным режимом бимодальной эмиссии хладагента из полугерметичной холодильной системы, обусловленной допустимыми постоянными и преднамеренными утечками хладагента. Однако в соответствии с Конвенцией МАРПОЛ – 1973/78 запрещены любые преднамеренные выбросы озоноразрушающих веществ. К постоянным относятся утечки, возникающие при современной технологии производства герметичных объектов, которая не может обеспечить необходимую непроницаемость для жидкостей, паров, газов и других сред. Преднамеренные выбросы включают утечки, возникающие в ходе технического обслуживания, ухода, ремонта оборудования, но не включают минимальные выбросы, связанные с обратным захватом или рециркуляцией озоноразрушающих веществ. Имеют место значительные различия эмиссии хладагента в системе (без вскрытия и со вскрытием). Так, замеры концентрации R22 в рефрижераторном машинном отделении на ССТ «Родина» показали, что постоянные утечки там составили 55 кг за 91 сут. В дальнейшем при ремонте оборудования в период гарантийной эксплуатации и вскрытия системы без предварительного вакууммирования утечки резко возросли до 900 кг за 130 сут. Случайные утечки представляют наибольшую опасность, так как возникают неожиданно и могут создать аварийную ситуацию, особенно внутренние утечки, например через трубки конденсатора или маслоохладителя в охлаждающую воду. На рис. 2 приведена структурная схема утечки хладагента из СХУ.

Известно, что современное холодильное оборудование способствует снижению эмиссии хладагента в окружающую среду. Однако не все оборудование на судах достаточно эффективно и надежно. В табл. 1 приведены показатели надежности 24 компрессорно-конденсаторных аг-

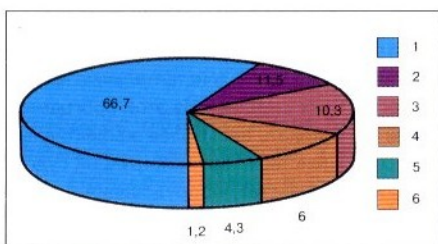


Рис. 1. Отказы (в %) холодильного оборудования: 1– система охлаждения; 2– компрессоры; 3– конденсаторы с ресиверами; 4– приборы автоматизации; 5– воздухоохладители; 6– прочие

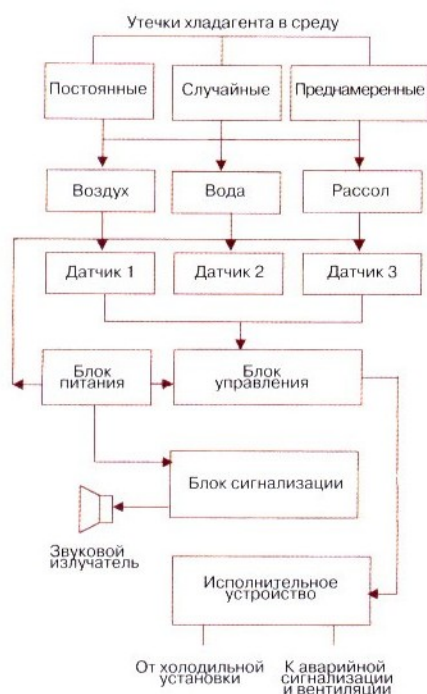


Рис. 2. Структурная схема утечки хладагента

Таблица 1

Показатель	Год эксплуатации СХУ		
	1978 г.	1979 г.	1980 г.
Количество отказов	63	96	94
Наработка на отказ, ч	400	257	268
Средняя наработка изделия с начала эксплуатации, ч	3017	4047	5097
Суммарная длительность простоя, ч	79	184	180
Вероятность безотказной работы	0,286	0,144	0,153

Таблица 2

Тип судна	Хладагент	Общая приведенная [( $t_0/t_k$ ) <sub>к</sub> = -15/30 °С] холодопроизводительность компрессоров, кВт	Масса заправленного хладагента, кг	Потери хладагента в год, кг	Погрешность расчета, %	Масса хладагента для дозаправки всех судов данного типа, т в год
БМРТ «Маяковский»	R12	4,64	22	58,3	4,0	3,33
ТР «Сибирь»	R12	4,64	100	237	6,0	—
ТР «Сибирь»	R717	273	1900	630	5,6	—
ПСТ Баренцево море»	R12	88	292	447	1,7	28,2
ССТ «Альпинист»	R12	260	822	458	5,6	114,5
ТР «Радужный»	R22	280	480	426	4,6	30,25
БМРТ «Прометей»	R22	2163	4900	1767	5,0	130,76

регатов МАКБ12х2 (3 ед. на одно судно), установленных на посольно-свежеморском траулере типа «Баренцево море». Практика подтвердила низкую надежность этих агрегатов и соответственно повышенный расход хладагента уже в начальный период эксплуатации.

На снижение утечек при эксплуатации оказывает влияние степень чистоты хладагента и масла в системе. При высоком содержании влаги и механических примесей приходится часто вскрывать фильтры для чистки и заменять осушительное средство. На основании 120 лабораторных анализов различных сортов масел (ХС-40, ХА-30, ХФ 22–24 и др.), пробы которых взяты из компрессоров с наработкой 1000–20 000 ч, установлено, что в половине проб массовая доля влаги составляла 0,03–0,2 % при норме для R22 0,002 %. Содержание механических примесей достигало 0,02–0,3 %. Присутствие воды в системе приводит к образованию кислот. Под воздействием кислот происходит коррозия деталей компрессоров, аппаратов и трубопроводов. Проблемы у судовых специалистов возникали при работе винтовых компрессорных агрегатов на масле ХА-30 на РТМС типа «Прометей». Расчетная температура кипения R22 в воздухоохладителях морозильных аппаратов LBH-31,5 и трюмов предусмотрена минус 41 – минус 44 °С, практически достигает минус 48 °С, а температура застывания масла составляет минус 38 °С, что приводит к выпадению парафинов. По данным рижских специалистов, появление парафинов в системе хладагента наблюдалось через 3000–5000 ч работы после замены масла. При наработке 15 000 ч на деталях винтовых компрессоров откладывался слой темных смолистых осадков (0,54 мас. %), которые вызывали выход из строя сальника и регулятора производительности компрессора, а следовательно, утечку хладагента.

Проблема утечек рабочего вещества через дефектные трубки конденсаторов – одна из актуальных в СХУ. Особую сложность для обслуживающего персо-

нала представляли конденсаторы на судах типов супертраулер «Прометей», траулера «Атлантис», транспортных рефрижераторов «Карл Либкнехт», «Кристалл 2» и др. Конструктивные недостатки и низкая технологичность приводили к преждевременному выходу их из строя. Свищи образовались через 1200–15 000 ч работы, способствовали утечке хладагента от 65 до 6200 кг (полная заправка холодильной установки). При полной потере хладагента из СХУ в систему попадала вода и приходилось выводить из эксплуатации судно на 2 мес, что приводило к большим материальным потерям. После замены трубногочка дальнейшая эксплуатация была затруднена вследствие коррозии оборудования, арматуры и возникновения проблем с поддержанием необходимой влажности масла и хладагента, а также наличия механических примесей.

Для защиты концевых участков теплообменных трубок и трубных решеток от гидроэрозийного разрушения использовали насадку из полимерного материала (Лагунов, Мжачих, 1996) и цинковые пробочные протекторы (Бабушкин, Гришин, 1980), что позволило сократить утечки хладагента R22 через конденсаторы. Вместе с тем представляет интерес экспериментальное исследование условий теплообмена и взаимодействия трубок конденсатора с потоком воды переменной скорости на судах разных типов.

В табл. 2 приведена статистическая оценка эмиссии хладагентов из систем холодильных установок для шести типов судов (Черкашин, 1997). В последней колонке табл. 2 приведены данные с учетом количества судов промыслового флота Российской Федерации, находящихся в эксплуатации на 01.01.95 г.

Анализ статистики 113 отказов через трубопроводы позволил выявить следующие характерные места утечек:

- 55 % утечек происходит из-за негерметичности сварных швов в местах высокой влажности и загрязнения, вблизи палубных и переборочных стаканов, под слоем неплотно прилегающей теплоизоляции и в результате изменения тем-

пературы хладагента в трубопроводах. Например, на транспортном рефрижераторе «Ирбенский пролив» утечка R22 массой 600 кг произошла в коффердаме – неохлаждаемом помещении с высокой относительной влажностью воздуха, через которое проходит трубопровод подачи хладагента к воздухоохладителю трюма. При охлаждении и оттаивании влага конденсировалась на трубопроводе. Неоднократные утечки в коффердаме на судах данного типа объясняются не только высокой влажностью и коррозией, но также недостаточным вниманием, уделяемым этой зоне со стороны обслуживающего персонала. Особое внимание следует обращать на места размещения холодильных трубопроводов через палубы и переборки. При изменении температуры длина труб также меняется. Парозащитный слой теплоизоляции при этом нарушается и дает трещины. Проникновение влаги и взаимодействие ее с химическими компонентами изоляции вызывают значительную коррозию наружной поверхности трубопровода, которая длительное время остается незамеченной. Антикоррозионная защита трубопроводов на многих типах СХУ недостаточна. На лучших судах зарубежной постройки толщина слоя цинкового покрытия трубопроводов составляет 100 мкм (Япония, Испания, Югославия), а на многих типах судов отечественного промыслового флота – не более 80 мкм, что явно недостаточно, так как уменьшение толщины цинкового слоя в условиях невысокой влажности морского воздуха может составлять 2,5 мкм, а в условиях движущейся морской воды в трубопроводе – 70 мкм в год (Лещинский, 1977);

- 5 % утечек дают нарушения герметичности трубопроводов в местах пайки, особенно разнородных металлов, например медь – алюминий или медь – сталь;

- 10 % утечек обнаружено на трубопроводах подвода и отвода хладагента от морозильных аппаратов под слоем теплоизоляции вследствие коррозии;

- 12 % утечек вызвано разрушением трубопроводов из-за вибрации не по сварному шву. Трещины или разрушение трубопровода неоднократно возникали у компрессоров (например, трубопровод впрыскивания масла в компрессор S3–900), когда амплитуда колебания трубопровода была выше, чем у компрессора, теплообменников, в местах возврата хладагента из трюма и др. Повреждения сварных швов наблюдались также при автоматическом открытии или закрытии соленоидных вентилялей и возникновении динамических импульсов хладагента, значительно больших, чем при ручном открытии вентиляля. В результате таких импульсов возрастает напряженность в сварных швах и дефектные стыки дают трещины;

- отказы по утечке хладагента через фланцевые соединения для исследуемой

группы судов не превышают 3 %. При этом отмечены такие отказы, как разрыв двух крепежных болтов фланцевого соединения и утечка R22 (80 кг); утечка хладагента через фланцевые и штуцерные соединения, размещенные плотно друг к другу на участке трубопровода длиной 700 мм (восемь соединений). При подтягивании и уплотнении одного из соединений нарушалась герметичность в другом;

- 5 % утечек произошли при опресовке системы;

- остальные 10 % отказов по утечкам через трубопроводы вызваны разными причинами.

Правильная техническая эксплуатация холодильной установки играет существенную роль. В результате ошибочных действий обслуживающего персонала возникали утечки в различных производственных ситуациях. На некоторых судах типа «Карл Либкнехт» происходили утечки R22 из воздухоохладителей. После каждого второго оттаивания требовалась дозаправка 250–300 кг хладагента. После оттаивания в начале процесса охлаждения при резком открытии соленоидного вентиля и значительной подаче хладагента в нагретый воздухоохладитель в нем резко возрастает давление, что приводит к срабатыванию предохранительного кла-

пана. Некоторые ПК начинали выпускать хладагент при давлении 0,3–1,4 МПа. Дефект пружины и посадочного места клапана, а также ошибочные действия чело- века приводили к случайным утечкам хладагента.

Элементы холодильной установки являются виброактивными. Это приводит в судовых условиях, особенно при движении судна, к резонансным явлениям, значительной амплитуде колебаний и утечкам хладагента. Вибрацию элементов СХУ с компрессорами 22ФУУМН-90 измеряли при работе шести компрессоров и частоте вращения  $24,3 \text{ с}^{-1}$  при движении судна на полном ходу с полным грузом (950 т). При частоте колебаний 26 Гц наибольшая амплитуда у нагнетательного клапана на трубопроводе подачи паров хладагента в конденсатор составляла 0,43 мм и 0,25 мм у щита для манометров одного из компрессоров (траверсные колебания). При эксплуатации производственной холодильной установки на судне типа «Татарстан» происходит значительная эмиссия R22 в атмосферу (около 700 кг в год). Допустимая амплитуда колебаний компрессоров зарубежного производства не должна превышать 0,1 мм.

Опыт разработок и эксплуатации СХУ показал, что значительного снижения уте-

чек хладагента можно достигнуть за счет следующих мероприятий при проектировании и монтаже:

- повышения технологичности и надежности конструктивных элементов и производственных процессов изготовления и контроля;

- сокращения протяженности трубопроводов;

- надежной антикоррозионной защиты трубопроводов;

- уменьшения массы хладагента в системе;

- повышения эффективности испытаний с применением более совершенных средств и методов контроля герметичности системы;

- уменьшения вибрации узлов холодильных установок.

Сокращение утечек хладагентов в установках при эксплуатации зависит от человеческого фактора. Регулярное проведение технических осмотров элементов установки, постоянное ведение журнала технического состояния с записью дефектов и ориентировочной эмиссии хладагента в среду утечки способствуют снижению его потерь. При ремонте или сервисном обслуживании должен производиться сбор хладагента в ресивер.