ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ
И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ
ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО
КОМИТЕТА СССР

ИЗДАЕТСЯ С 1923 ГОДА

МОСКВА ВО "АГРОПРОМИЗДАТ"

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА

2 1988

В НОМЕРЕ:

INISSUE:

УДК 621.575

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ХОЛОДИЛЬНОГО АГРЕГАТА АБСОРБЦИОННЫХ БЫТОВЫХ ХОЛОДИЛЬНИКОВ

Канд. техн. наук Ю. Е. НИКОЛАЕНКО, канд. техн. наук Ю. Ф. КИСЕЛЕВ, А. П. ЗАИЧЕНКО, В. Е. ДАНИЛЮК

По данным ремонтных мастерских, одним из часто встречающихся отказов абсорбционных бытовых холодильников является перегорание электронагревателя холодильного агрегата.

Для выявления основных факторов, влияющих на надежность нагревателя, были рассмотрены варианты его крепления к термосифону серийно выпускаемых абсорбционных бытовых холодильников «Морозко-3М», «Иней», «Кристалл-9М», «Ладога-4» и оценены конструктивные особенности каждого варианта (рис. 1, табл. 1).

Как видно из табл. 1, из-за наличия допусков на диаметр d нагревателей (ТУ 27-56-867—80) и на внутренний диаметр D охватывающих нагреватель элементов крепления (скоб, жарового стакана или хомутов) в реальных конструкциях холодильных агрегатов между поверхностью нагревателя и охватывающим его элементом крепления возможен зазор шириной δ.

В зависимости от расположения нагревателя относительно охватывающего его элемента крепления ширина зазора может быть как постоянной по периметру нагревателя, так и переменной.

В табл. 1. приведены расчетные значения максимальной ширины δ_{max} кольцевого зазора в случае симметричного расположения нагревателя. Хотя на практике симметричное расположение нагревателя встречается не всегда, однако такое допущение позволяет упростить дальнейшие расчеты и вполне допустимо при качественной и ориентировочной количественной оценке влияния зазора на температуру нагревателя.

Можно предположить, что наличие зазора, заполненного воздухом, обладающим высоким термическим сопротивлением из-за низкой теплопроводности [$\lambda_в$=0,0386 Вт/(м×К) при 190 °С], обусловливает высокую рабочую температуру поверхности нагревателя и, следовательно, снижение надежности его работы.

Для оценки влияния термического сопротивления зазора, заполненного воздухом, на температуру нагревателя определен максимальный перепад температур наружной поверхности нагревателя и стенки жарового стакана $\Delta t_в$ в кольцевом зазоре шириной δ_{max} при максимальной мощности нагревателя $P_н$ и условии передачи тепла теплопроводностью по закону Фурье. Результаты расчета (см. табл. 1) показали, что при δ_{max}=1,1 мм и максимальной плотности теплового потока нагревателя $q_н$=2,8 Вт/см^2 $\Delta t_в$ достигает 811 °С.

Наиболее совершенным представляется вариант крепления нагревателя с помощью обжимных хомутов (рис. 1, *в*). Однако и в данном случае наличие отдельных зазоров неизбежно, а их количество и размеры зави-

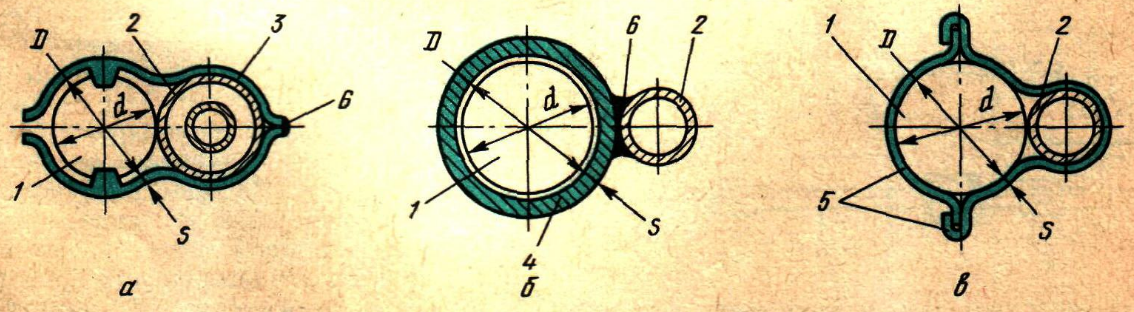

Рис. 1. Варианты крепления электронагревателя к термосифону:
а — пружинистыми скобами; *б* — установкой нагревателя в жаровой стакан; *в* — обжимными хомутами;
1 — нагреватель; *2* — термосифон; *3* — скоба; *4* — жаровой стакан; *5* — хомут; *6* сварной шов

Таблица 1

Модель холодильника и вариант крепления нагревателя	Характеристики электронагревателя				Характеристики охватывающего элемента крепления		Расчетные значения		
	Тип	d, мм	$P_н$, Вт	$q_н$, Вт/см^2	S, мм	D, мм	δ_{max}, мм	$\Delta t_в$, °C	$\Delta t_п$, °C
«Морозко-3М», рис. 1, *а*	НЭХ 1-2	16_{-1}	75^{+5}	1,5	1,6	$16^{+0,43}$	0,71	282	19,5
«Иней», рис. 1, *б*	НЭХ 2-3	$19_{-1,2}$	123^{+5}	2,1	1,5	20	1,1	579	40
«Кристалл-9М», рис. 1, *б*	НЭХ 3	$19_{-1,2}$	125^{+5} 40^{+5}	2,8 1,0	2,5	$19,8^{+0,21}$	1,1	811 290	56 20
«Ладога-4», рис. 1, *в*	НЭХ 2-2	$19_{-1,2}$	100_{-5}	1,6	1—1,5	Определяется качеством обжима			

сят от качества обжима хомутов, чему при сборке необходимо уделять особое внимание.

Одним из простых и эффективных путей повышения надежности работы нагревателей абсорбционных холодильников может стать заполнение зазора между поверхностями нагревателя и элемента крепления теплопроводным материалом (фольгой, слюдой, песком, пастами и т. п.), снижающим термическое сопротивление передаче тепла от нагревателя к термосифону.

Наиболее технологично при серийном производстве заполнение возможного зазора теплопроводной пастой. Расчет перепада температур для зазоров шириной δ_{max}, указанных в табл. 1, показал, что заполнение их теплопроводной пастой КПТ-8 [$\lambda_п$=0,55 Вт/(м·К) при 190 °С] позволяет значительно уменьшить температуру нагревателя. Например, при $q_н$=2,8 Вт/см^2 максимальный перепад температур $\Delta t_п$ в кольцевом зазоре шириной δ_{max}=1,1 мм, заполненный пастой, составил всего 56 °С вместо 811 °С в случае заполнения зазора воздухом. Соответственно максимальное снижение температуры нагревателя может составить 755 °С, что несомненно положительно скажется на его надежности.

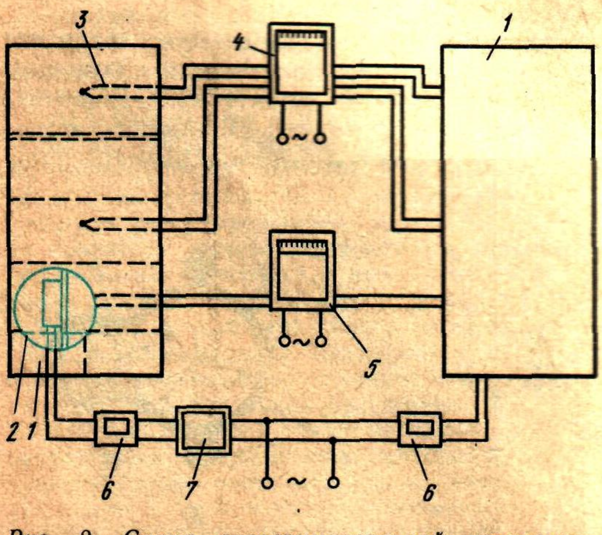

Рис. 2. Схема экспериментальной установки:
1 — холодильник «Кристалл-9М»; *2* — рабочий участок; *3* — хромель-копелевая термопара; *4* — потенциометр КСП 4; *5* — потенциометр КСП 2-032; *6* — счетчик потребляемой мощности; *7* — самопишущий прибор Н 340

Высказанное предположение проверили на двух серийных абсорбционных холодильниках «Кристалл-9М». Схема экспериментальной установки показана на рис. 2.

Основной элемент установки — рабочий участок (рис. 3), представляющий собой узел крепления нагревателя к термосифону холодильного агрегата (путем установки нагревателя в жаровой стакан).

Температуры поверхности нагревателя, жарового стакана и термосифона обоих холодильников измеряли с помощью шести хромель-алюмелевых термопар (диаметр проводов 0,2 мм) и шеститочечного потенциометра типа КСП 2-032 класса точности 0,5, а температуру внутри низкотемпературного отделения (НТО) холодильника и в его холодильной камере (ХК) — четырьмя хромель-копелевыми термопарами (диаметр проводов 0,5 мм), выведенными на потенциометр типа КСП4 класса точности 0,5. Термопару, измеряющую температуру нагревателя, помещали в специально выфрезерованную на его поверхности продольную канавку, а спаи термопар, измеряющих температуру на поверхностях жарового стакана и термосифона, приваривали к ним точечной сваркой в среднем сечении по высоте, как показано на рис. 3.

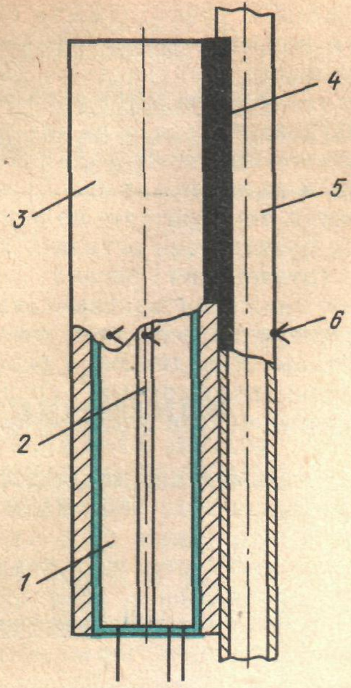

Рис. 3. Рабочий участок экспериментальной установки:

1 — нагреватель НЭХ 3; *2* — канавка для термопары; *3* — жаровой стакан; *4* — сварной шов; *5* — термосифон; *6* — хромель-алюмелевая термопара

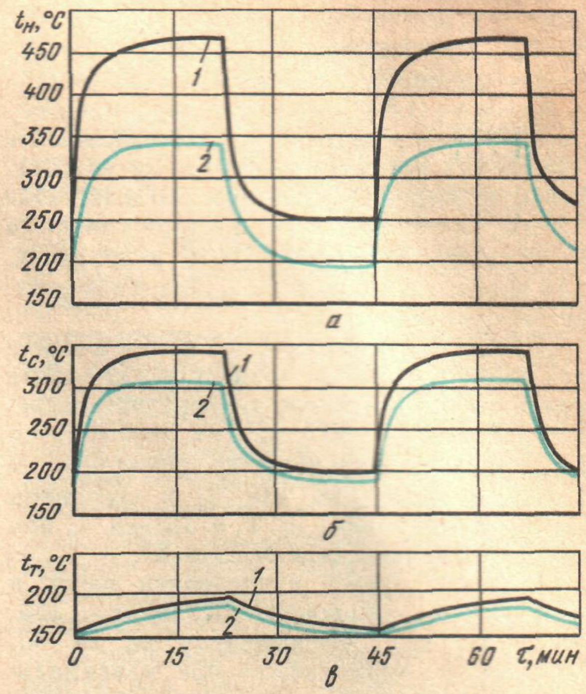

Рис. 4. Влияние введения теплопроводной пасты в зазор между нагревателем и жаровым стаканом на рабочую температуру нагревателя $t_н$ (а), жарового стакана t_c (б) и термосифона $t_т$ (в):

1 — зазор с воздухом; *2* — зазор с пастой КПТ-8

Для контроля потребляемой мощности в экспериментальной установке предусмотрены счетчики типа СО-2М класса точности 2,5 и самопишущий прибор типа Н340 класса точности 1,5.

Эксперимент проводили следующим образом. После выхода обоих холодильников на стационарный режим при установке терморегулятора в положение «4» непрерывно в течение 2 сут вели измерения и запись изменений температуры на поверхностях нагревателей, жаровых стаканов, термосифонов и внутри холодильников — в НТО и ХК, а также снимали циклограмму работы одного из холодильников и измеряли потребляемую каждым из них мощность. При этом испытательные пакеты в холодильники не загружали. Затем нагреватели с термопарами извлекали из жаровых стаканов, поверхность нагревателей и поверхность внутри жаровых стаканов смазывали пастой КПТ-8, после чего нагреватели устанавливали в прежнее положение. И цикл измерений повторяли.

Такие же измерения были проведены и спустя полгода после введения пасты в зазор.

Результаты измерений для одного из холодильников представлены на рис. 4 и в табл. 2 (характер изменения температур

Таблица 2

Заполнение зазора	Температура, °С					
	электронагревателя		жарового стакана		термосифона	
	$t_{н\,max}$	$t_{н\,min}$	$t_{c\,max}$	$t_{c\,min}$	$t_{т\,max}$	$t_{т\,min}$
Воздухом	467±10	250±5	344±10	205±5	193±8	156±5
Пастой КПТ-8						
сразу после введения ее в зазор	345±10	195±5	312±10	195±5	190±5	156±8
через 6 мес после введения ее в зазор	330±5	200±5	310±5	185±5	180±8	144±10

для другого холодильника аналогичен).

Средняя температура в НТО в установившемся режиме составляла —21±1 °С, в ХК была 1,5±1 °С. Максимальная температура нагревателя $t_{нmax}$ при мощности 125 Вт без пасты в зазоре между нагревателем и жаровым стаканом 467±10 °С и 450±8 °С, минимальная $t_{нmin}$ (при мощности нагревателя 40 Вт) 250±5 °С и 273±5 °С для первого и второго холодильников соответственно.

Введение теплопроводной пасты в зазор, как видно из рис. 4,*а,* позволило уменьшить максимальную рабочую температуру нагревателей на 26,1—30,0 %. Так, температура $t_{нmax}$ первого холодильника снизилась на 122, а второго — на 135 °С и составила соответственно 345±10 °С и 315±5 °С при тех же ее значениях в НТО и ХК.

Несколько упала с введением пасты и температура жарового стакана (см. рис. 4,*б*): t_{cmax} уменьшилось на 32 °С. Температура термосифона при максимальной потребляемой мощности снизилась на 3 °С.

Анализ полученных результатов эксперимента подтверждает, что такое существенное снижение температуры нагревателей достигнуто за счет уменьшения термического сопротивления зазора при заполнении его пастой. Снижение температуры жарового стакана (около 9 %) при введении в зазор теплопроводной пасты можно объяснить тем, что часть теплового потока от нагревателя к термосифону передается вдоль его периметра теплопроводностью слоя пасты, в результате чего уменьшается тепловой поток, идущий по стенке жарового стакана. Это может несколько сократить и потери тепла в окружающую среду.

Результаты измерения потребляемой холодильниками мощности показали, что введение теплопроводной пасты в зазор практически не повлияло на цикличность переключения мощности нагревателей со 125 на 40 Вт и обратно (в среднем — через 22,5 мин) и на суточное энергопотребление холодильников, которое составило для первого холодильника 2,15 и 2,09 кВт·ч и для второго — 2,54 и 2,54 кВт·ч при заполнении зазора соответственно воздухом и пастой.

Время выхода холодильников на стационарный режим в обоих случаях было одинаковым — 4,6 ч.

Особый интерес с практической точки зрения представляет изучение стабильности свойств пасты и эффективности ее использования в нагревательном узле холодильника в процессе эксплуатации. Повторные (сравнительные) измерения температурного поля в нагревательном узле тех же самых холодильников спустя полгода после введения пасты в зазор (см. табл. 2) показали, что значения температуры во всех точках измерения практически остались на тех же уровнях (отклонения весьма невелики). Небольшие снижения максимальных значений температур во всех трех точках измерения связаны, по-видимому, с более низкой температурой окружающей среды (23—25 °С), чем в начале исследований (26—30 °С).

Дополнительный анализ существующих в нагревательном узле перепадов температур показал, что свыше 50 % суммарного значения термического сопротивления на участке «нагреватель — термосифон» составляет термическое сопротивление участка «жаровой стакан — термосифон».

Например, разность между температурами точек на жаровом стакане и термосифоне, показанных на рис. 3, для первого холодильника при заполнении зазора в нагревательном узле воздухом составила 151 °С (55 % суммарного перепада) при максимальной мощности нагревателя 125 Вт. Снижение перепада температур в зазоре при введении в него пасты еще больше увеличило долю (до 79 %) термического сопротивления на участке «жаровой стакан — термосифон» в общем термическом сопротивлении исследуемого узла, несмотря на то, что абсолютное значение перепада температур на этом участке уменьшилось со 151 до 122 °С. Это свидетельствует о том, что заслуживает внимания и совершенствование конструкции узла жарового стакана с целью снижения его термического сопротивления.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что введение в зазор между поверхностями нагревателя и охватывающего его элемента крепления теплопроводного материала, не сокращая заметно расхода электроэнергии, существенно уменьшает термическое сопротивление передаче теплового потока от нагревателя к термосифону, что приводит к значительному снижению (на 122—135 °С) максимальной рабочей температуры нагревателя и позволяет повысить его надежность и холодильного агрегата в целом.