

УДК 621.56

И.Н. ЛУКАШЕВ, Г.А. ГОРБЕНКО, П.Г. ГАКАЛ, Д.В. ЧАЙКА, Р.Ю. ТУРНА

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЕ С СОЛЕНОИДНЫМ КЛАПАНОМ В КАЧЕСТВЕ РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА ХЛАДАГЕНТА

Предложено схемное решение парокompрессионной холодильной машины с соленоидным клапаном в качестве регулятора расхода хладагента. Представлены результаты экспериментальных исследований работы холодильной машины в летний и зимний период времени. Целью экспериментальных исследований был анализ работоспособности и энергопотребления холодильной машины. Было показано, что в летний период времени установка работает в нормальном режиме, в зимний период времени замена терморегулирующего вентиля на соленоидный клапан позволила уменьшать температуру конденсации при снижении температуры окружающей среды. В результате и энергопотребление компрессора и холодильной машины в целом уменьшилось. Также было определено, что оттаивание горючими парами хладагента в зимний период времени не работает в данном схемном решении.

Ключевые слова: холодильная машина, соленоидный клапан, снижение энергопотребления, энергоэффективность.

Введение

В настоящее время высокая энергетическая эффективность, низкие капитальные затраты и экологическая безопасность - основные требования, которые предъявляются к холодильному оборудованию [1].

В работе [1] было предложено заменить в стандартной холодильной машине терморегулирующий вентиль (ТРВ) на простой соленоидный клапан, который будет выступать в качестве регулятора расхода хладагента. Было показано, что при данной замене уменьшаются капитальные затраты и увеличивается энергоэффективность системы в целом. Повышение энергоэффективности системы обусловлено снижением энергопотребления компрессора в зимний период времени из-за уменьшения температуры конденсации в результате снижения температуры окружающей среды. Кроме того, нет необходимости в установке жидкостного ресивера, отделителя жидкости, маслоотделителя, что позволяет уменьшить количество заправляемого хладагента и тем самым, повысить экологическую безопасность холодильной машины.

Однако предложенная модификация холодильной машины должна быть обоснована как расчётными, так и экспериментальными исследованиями. Для этого в зимний и летний периоды на территории г. Харькова были проведены экспериментальные исследования работоспособности и энергоэффективности модифицированной холодильной машины.

Постановка и решение задачи

Для исследований особенностей процессов в холодильной машине необходимо сочетание теоретических и экспериментальных методов. Основное назначение экспериментальных исследований заключается в обосновании принимаемых решений, исследовании новых явлений, закономерностей, а также для формирования базы данных для оценки адекватности математических моделей, обоснования ее отдельных допущений, соотношений.

Для анализа работоспособности модифицированной ХМ, изучения закономерностей теплогидравлических процессов была создана экспериментальная установка, работающая на фреоне R507. Принципиальная схема установки представлена на рис. 1. Холодильная машина имеет расчетную холодопроизводительность 18,7 кВт при температуре испарения -21 °С и температуре конденсации 35 °С. Модифицированная холодильная машина состоит из: компрессора (К), конденсатора (КН), испарителя (И), соленоидных клапанов (СВ1 и СВ2), датчиков давления и температуры (ДТ и ДТ), дистрибьютора (Д), смотрового окна (СМ), фильтра-осушителя (Ф), обратного клапана (ОК).

Принцип работы модифицированной холодильной машины не отличается от принципа работы стандартной парокompрессионной холодильной машины с единственным отличием – в стандартной ХМ расход хладагента через испаритель регулируется терморегулирующим вентилем, в модифицированной ХМ для регулирования расхода используется

соленоидный клапан СВ1. Сигналы с датчиков ДД и ДТ поступают в контроллер КНТ и в зависимости от полученных данных клапан СВ1 или открывается или закрывается, то есть реализуется дискретный механизм управления клапаном.

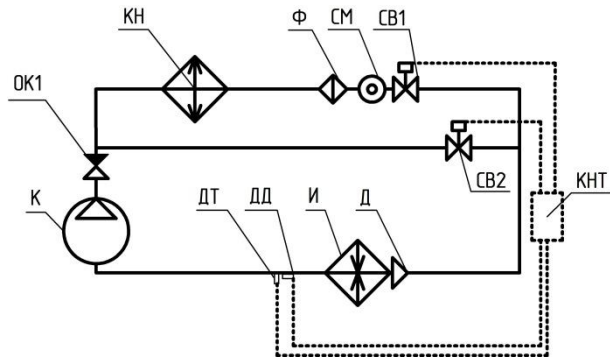


Рис. 1. Схема модифицированной ХМ: К – компрессор; КН – конденсатор; Ф – фильтр-осушитель; СМ – смотровое окно; СВ1, СВ2 – соленоидный клапан; ДД – датчик давления, ДТ – датчик температуры, Д – дистрибьютор; КНТ – контроллер; И – испаритель; ОК1 – обратный клапан.

Экспериментальная установка полностью подобна модифицированной ХМ. С помощью экспериментальной установки исследуется работоспособность и энергоэффективность холодильной машины в зимний и летний периоды времени.

Измерение температуры окружающей среды осуществлялось с помощью датчиков температуры DS1921G с погрешностью $\pm 0,5$ °С. Давление конденсации измерялось с помощью датчика Eliwell EWPA 030 с погрешностью ± 1 %. Давление испарения измерялось с помощью датчика Danfoss MBS 1700 0 - 10 с погрешностью ± 1 %. Температура хладагента на выходе из испарителя измерялась с помощью датчика DS1921G с погрешностью $\pm 0,5$ °С. Для снижения теплотерь трубопровод, связывающий соленоидный клапан (СВ1) и испаритель (И), а также испаритель (И) с компрессором (К), был теплоизолирован.

Как уже отмечалось выше, одним из отличий модифицированной ХМ от стандартной ХМ является отсутствие ТРВ и обусловленное этим отсутствие жидкостного ресивера. Расход через испаритель регулируется соленоидным клапаном, который может быть или открытым, или закрытым. Падение давления от давления конденсации до давления испарения происходит в трубопроводе, связывающем соленоидный клапан СВ1 с испарителем. Следовательно, при проектировании модифицированной ХМ необходимо диаметр трубопровода на участке соленоидный клапан СВ1 – испаритель подобрать таким образом, чтобы в нем давление умень-

шалось от давления конденсации к давлению испарения.

Для проверки работоспособности системы, понимания происходящих в системе процессов экспериментальные данные снимались в наиболее ответственные для такой ХМ моменты времени - летний и зимний периоды. Результаты сравнивались с данными полученными на стандартной ХМ. В летний период времени модифицированная холодильная машина работает с такой же температурой конденсации, как и стандартная холодильная машина. На рис. 2 представлены полученные в эксперименте температуры конденсации, испарения и окружающей среды в летний период времени.

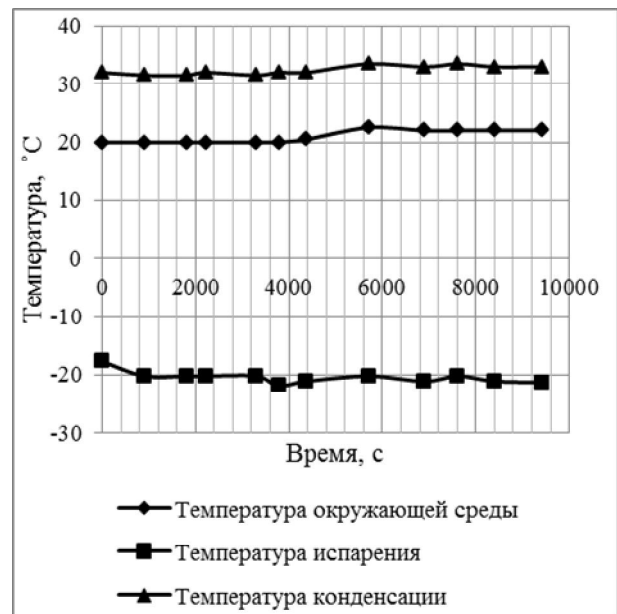


Рис. 2. Работа холодильной машины в летний период времени

Как следует из графиков, в летний период времени установка работает в нормальном режиме. Температура испарения находится на заданном уровне (-21 °С). Разность температуры конденсации, как и в стандартной холодильной машине с воздушным конденсатором, и окружающей среды имеет значение от 10 до 20 К [2, 3].

Как уже отмечалось, наиболее полно преимущества модифицированной ХМ проявляются в зимний период. В стандартной ХМ для нормальной работы ТРВ необходимо искусственно, различными способами, поддерживать высокое давление конденсации [4, 5]. В модифицированной ХМ в силу особенностей работы соленоидного клапана это можно не делать. В соленоидном клапане нет дроселирующего отверстия, а само дроселирование происходит непосредственно в трубопроводе, связывающим соленоидный клапан и испаритель.

То есть, температура и соответственно давление конденсации будет отличаться от температуры окружающей среды только на величину, обусловленную термическим сопротивлением (10... 20 К). Это иллюстрируют экспериментальные данные, полученные в зимний период времени и представленные на рис. 3. В стандартной холодильной машине температура конденсации фиксируется на уровне 18 °С. Это достигается путем ухудшения условий теплообмена в конденсаторе [4, 5, 6]. В холодильной машине с соленоидным клапаном температура конденсации не ограничивается на этой температуре, а продолжает снижаться вместе со снижением температуры окружающей среды. Таким образом, нет необходимости в поддержание высокой температуры конденсации на определенном температурном уровне. Нижняя граница температуры конденсации ограничивается лишь характеристикой компрессора, которая указывается производителем.

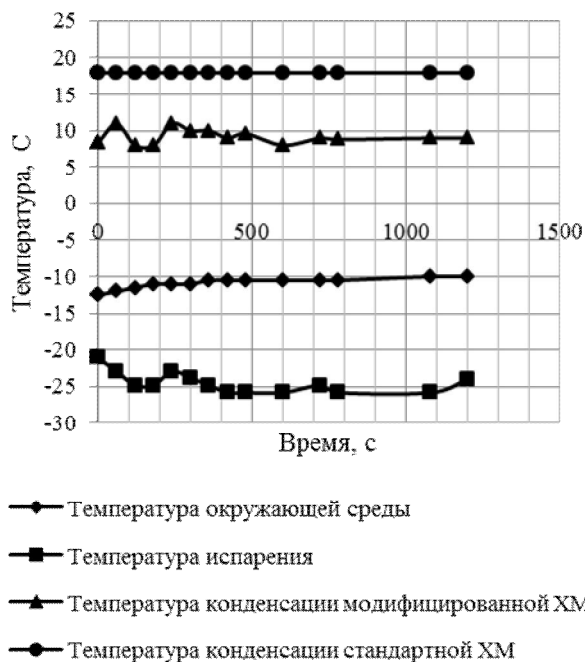


Рис. 3. Работа холодильной машины в зимний период времени

Как следует из представленных данных на рис. 3 температура конденсации снижается вместе с температурой окружающей среды.

Следующая проблема, которая решалась в ходе экспериментов была связана с возможностью реализации оттаивания системы горячими парами хладагента. Было обнаружено, что процесс оттаивания в данном схемном решении, в зимний период времени, не работает. Это связано с тем, что конденсатор является более холодным, весь хладагент со време-

нем аккумулируется в нем. Происходит постепенное падение давления паров хладагента в испарителе (см. рис. 5) и увеличение температуры перегрева (см. рис. 6). В результате компрессор отключается по прессостату низкого давления не дожидаясь окончания процесса оттаивания.

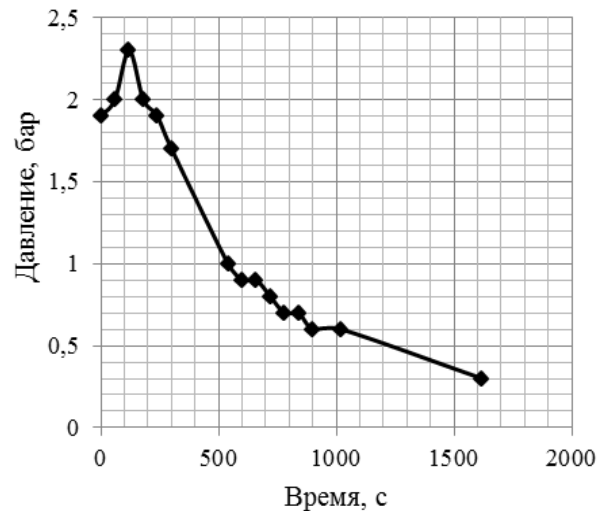


Рис. 5. Давление в испарителе в режиме оттаивания в зимний период времени

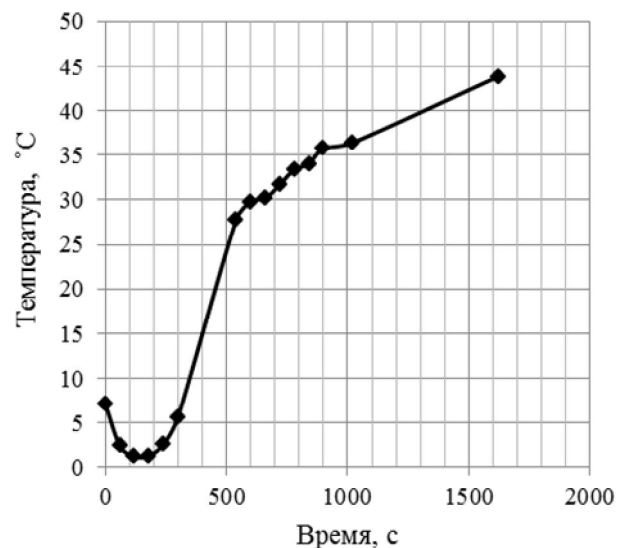


Рис. 6. Перегрев паров хладагента в режиме оттаивания в зимний период времени

Для реализации режима оттаивания в модифицированной ХМ необходимы доработки, нуждающиеся в дальнейших исследованиях. В летний период времени оттаивание работает в нормальном режиме.

В табл. 1 приведено сравнение элементного состава стандартной ХМ с ХМ с соленоидным клапаном в качестве регулятора расхода хладагента.

Таблица 1

Основные компоненты ХМ и модифицированной ХМ

	Ресивер	Отделитель жидкости	Маслоотделитель	ТРВ или соленоидный клапан	Контроллер	Компрессор	ТЭНы оттайки	Конденсатор	Испаритель
ХМ	+	+-	+	+-	+-	+	+	+	+
Мод. ХМ	-	-	-	-	+	+	+-	+	+

На рис. 7 показано сравнение энергопотребления ХМ и ХМ с соленоидным клапаном в качестве регулятора расхода в течение года для г. Харькова.

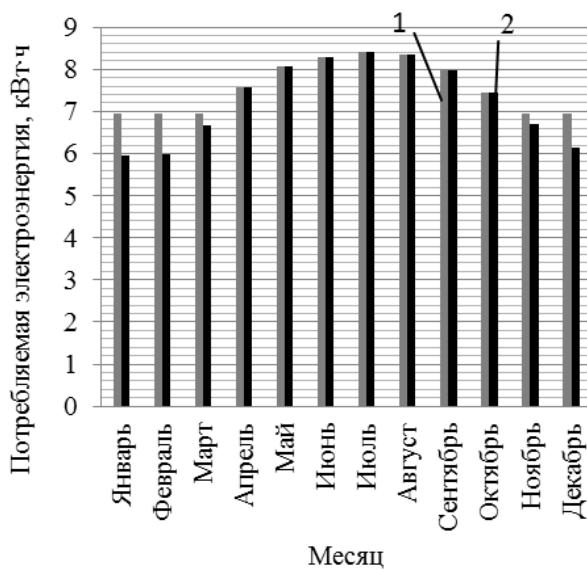


Рис. 7. Энергопотребление ХМ и модифицированной ХМ в течение года для г. Харькова: 1 – ХМ, 2 – модифицированная ХМ

Заключение

Результаты экспериментальных исследований доказали, что модифицированная ХМ имеет преимущество по энергопотреблению в сравнении со стандартной ХМ. Это связано с тем, что в холодильной машине с соленоидным клапаном в качестве регулятора расхода хладагента температура конденсации в зимний период времени может быть снижена при снижении температуры окружающей среды. Вместе со снижением температуры конденсации снижается и энергопотребление компрессора. Это приводит к увеличению энергоэффективности системы в целом.

Также, экспериментально было показано, что оттаивание горячими парами хладагента, в зимний период времени, не работает – это связано с тем, что весь хладагент аккумулируется в более холодном конденсаторе, что приводит к уменьшению количества паров хладагента циркулирующих между испарителем и компрессором, увеличению перегрева и отключению компрессора по прессостату низкого давления. Оттаивание горячими парами хладагента в зимний период времени необходимо дополнительно исследовать с применением схемных решений. Кроме того, для проектирования таких систем необходимо построение адекватной математической модели, позволяющей определять основные геометрические и другие параметры системы.

Литература

1. Парокомпрессионная холодильная машина с соленоидным клапаном в качестве регулятора расхода хладагента [Текст] / И.Н. Лукашев, Г.А. Горбенко, П.Г. Гакал, Р.Ю. Турна, Н.И. Иваненко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2013. – № 2/99. – С. 71-76.
2. Кондрашова, Н.Г. Холодильно -компрессорные машины и установки [Текст] / Н.Г. Кондрашова, Н.Г. Лацутина. – М.: Высш.шк., 1966. – 509 с.
3. Хейвуд, Р. Анализ циклов в технической термодинамике [Текст] / Р. Хейвуд. – М.: Энергия, 1979. – 280 с.
4. Мааке, В. Учебник по холодильной технике [Текст] / В. Мааке, Г.-Ю. Эккерт, Ж.-Л. Кошпен. – М.: Типография «Новости», 1998. – 1144 с.
5. Котзаогланиан, П. Пособие для ремонтника. Практическое руководство по ремонту холодильных установок с конденсаторами воздушного охлаждения [Текст]: пер. с франц. / П. Котзаогланиан. – М.: ЗАО «Остров», 2000. – 340 с.
6. Холодильные машины [Текст] / А.В. Бараненко, Н.Н. Бухарин, В.И. Пекарев, И.А. Сакун, Л.С. Тимофеевский. – СПб.: Политехника, 1997. – 992 с.

Поступила в редакцию 1.06.2013, рассмотрена на редколлегии 13.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедры аэрокосмической теплотехники А.О. Костиков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ У ПАРОКОМПРЕСОРНІЙ
ХОЛОДИЛЬНІЙ МАШИНИ З СОЛЕНОЇДНИМ КЛАПАНОМ
У ЯКОСТІ РЕГУЛЯТОРА ВИТРАТИ ХОЛОДОАГЕНТУ**

І.М. Лукашов, Г.О. Горбенко, П.Г. Гакал, Д.В. Чайка, Р.Ю. Турна

Запропоновано схемне рішення парокомпресорної холодильної машини з соленоїдним клапаном в якості регулятора витрати хладагента. Представлено результати експериментальних досліджень роботи холодильної машини в літній і зимовий період часу. Метою експериментальних досліджень був аналіз працездатності та енергоспоживання холодильної машини. Було показано, що в літній період часу установка працює в нормальному режимі, в зимовий період часу заміна терморегулюючого вентиля на соленоїдний клапан дозволила зменшувати температуру конденсації при зниженні температури навколишнього середовища. В результаті і енергоспоживання компресора і холодильної машини в цілому зменшилася. Також було визначено, що відтаювання гарячими парами хладагента в зимовий період часу не працює в даному схемному рішенні.

Ключові слова: холодильна машина, терморегулюючий вентиль, соленоїдний клапан, енерговитрати, екологічна безпека.

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF PROCESS IN THE VAPOR COMPRESSION
REFRIGERATION PLANT WITH A SOLENOID VALVE AS A REGULATOR
OF THE REFRIGERANT FLOW**

I.M. Lukashov, G.A. Gorbenko, P.G. Gakal, D.V. Chayka, R.Y. Turna

Proposed schematic of the vapor-compression refrigeration plant with solenoid valve as a regulator of refrigerant flow. The experimental results of work the refrigerant plant in the summer and winter time are presents. The purpose of the experimental study was to analyze the performance and power consumption refrigeration plant. It is shown that in the summer time the plant works normally, in winter time replacement thermostatic valve of the solenoid valve is enabled to reduce the condensation temperature at lower ambient temperatures. As a result we can see that power consumption of the compressor and the refrigeration plant are decreased. They have discovered that the hot gas defrost in the winter time does not work in this schematic.

Key words: refrigeration machine, thermostatic expansion valve, solenoid operated valve, energy demands, environmental safety.

Лукашев Иван Николаевич – аспирант кафедри аерокосмічної теплотехніки, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: ctrph.kharkiv@gmail.com.

Горбенко Геннадий Александрович – д-р техн. наук, професор кафедри аерокосмічної теплотехніки, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: ctrph.kharkiv@gmail.com.

Гакал Павел Григорьевич – д-р техн. наук, доцент кафедри аерокосмічної теплотехніки, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: ctrph.kharkiv@gmail.com.

Чайка Дмитрий Владимирович – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. кафедри аерокосмічної теплотехніки, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: ctrph.kharkiv@gmail.com.

Турна Рустем Юсуфович – науч. сотр. кафедри аерокосмічної теплотехніки, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: ctrph.kharkiv@gmail.com.