

4. Корінчук Д.М. Розробка композиційного палива на основі торфу і рослинної біомаси для використання в теплоенергетичних установках : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.06 „Технічна теплофізика та промислова енергетика”/Д.М. Корінчук.–Київ, 2010.–20 с.
5. Advanced Drying Technologies / [Kudra T., Mujumdar A.S.] – 2001. – 472 p.
6. Теплові насоси в системах теплохолододопостачання / [Снежкін Ю.Ф., Чалаєв Д.М., Шаврін В.С., Дабіжа Н.О.]. – К. : «Поліграф-Сервіс», 2008. – 104 с.
7. Снежкін Ю.Ф. Використання теплових насосів у процесах сушіння / Ю.Ф. Снежкін, Д.М. Чалаєв, В.С. Шаврін, Р.О. Шапар, О.О. Хавін, Н.О. Дабіжа // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 7. – С. 106 – 110.

УДК 621.565.93/95

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ ПРИ ПОМОЩИ АККУМУЛЯТОРА ХОЛОДА

Потапов В.А., д-р техн. наук, профессор
Мольский С.М., соискатель

Харьковский государственный университет торговли и питания, г. Харьков

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности холодильных систем, работающих при переменной тепловой нагрузке за счет использования аккумуляции холода.

The paper deals with improving the efficiency of refrigeration systems operating at variable thermal load by using the accumulation of cold.

Ключевые слова: аккумуляция холода, холодильная установка, регулирование холодопроизводительности, энергоэффективность.

Требуемая холодопроизводительность систем холодоснабжения, как правило, рассчитывается на максимальные среднесуточные нагрузки. Как следствие, на всех промежуточных рабочих режимах холодопроизводительность избыточна. Наиболее распространенный способ регулирования в такой ситуации является периодическое отключение компрессора [1]. Основным недостатком такого способа являются колебания температуры в объекте охлаждения. Более того, в случае с несколькими потребителями холода такой способ не эффективен, т.к. может привести к ситуации, при которой в некоторых объектах при малых нагрузках в случае отключения холодильной установки вообще не будет достигнута заданная температура.

Существуют и другие способы регулирования производительности, в частности, для поршневых компрессоров основными способами являются [2-4]:

- отжим всасывающих клапанов;
- внутренний перепуск пара;
- изменение мертвого объема цилиндра;
- сокращение хода сжатия;
- блокировка всасывающих каналов отдельных цилиндров или групп цилиндров;
- изменение частоты вращения.

Для этого типа компрессоров прежде всего используются методы "разгрузки цилиндра", требующие относительно низких затрат и применяемые обычно для многоцилиндровых компрессоров. Достижимая градация холодопроизводительности зависит от конструкции компрессора. В случае 4-, 6- и 8-цилиндровых компрессоров обычно отключают 2 цилиндра на каждой ступени нагрузки, что позволяет регулировать холодопроизводительность ступенями 25-50-75-100 % или 33-66-100 %. В комбинации с тандем-компрессорами или с параллельной работой компрессоров возможно более тонкое ступенчатое регулирование.

Для крупных промышленных компрессоров обычно применяются системы отжима всасывающих клапанов (кольцевые клапаны) с использованием гидравлического масляного привода. Газ, всасываемый соответствующими цилиндрами, при нагнетании поступает на сторону всасывания. При этом цилиндр работает практически на холостом ходу. Такой метод регулирования может также применяться для раз-

груженого пуску компресора. Метод висококоefficientивен, потери энергии возникают лишь вследствие механической работы трения колец и сопротивления во всасывающем клапане.

Для полугерметичных компрессоров часто использовались решения с применением встроенного перепускного контура. При этом между полостями высокого и низкого давления цилиндров, которые необходимо разгрузить, в перепускном канале устанавливается регулирующий клапан (байпас), который прерывает поток газа. Дополнительный обратный клапан на стороне высокого давления предотвращает проток уже сжатого газа. Данное конструктивное решение относительно просто, но недостаточно эффективно из-за значительных потерь при работе байпаса. К тому же термическое напряжение компрессора при частичных нагрузках весьма высоко, что в значительной мере ограничивает диапазон применения метода.

Другим вариантом регулирования является изменение мертвого объема цилиндра. Головка цилиндра оснащена дополнительной камерой высокого давления, которая посредством управляемого клапана может быть соединена с цилиндром, что увеличивает его мертвый объем. В процессе сжатия часть газа отводится в ту же камеру, откуда он возвращается в цилиндр под высоким давлением при обратном ходе поршня. Это позволяет значительно уменьшить объем цилиндра при нормальной работе компрессора. Данная система применяется на компрессорах с числом цилиндров менее четырех. Однако высокие потери при обратном расширении приводят к существенному падению эффективности при частичной нагрузке. Более того, диапазон регулирования существенно зависит от отношения давлений. Поэтому при небольших отношениях давлений возможно лишь незначительное уменьшение холодопроизводительности.

Для герметичных компрессоров также используется и другое решение - механически изменяемый ход поршня (сокращение хода сжатия).

Наиболее распространенным методом механического регулирования холодопроизводительности компрессоров для коммерческого холода является метод отключения цилиндров путем блокировки всасывающих каналов отдельных цилиндров или групп цилиндров. Эта концепция была разработана BITZER уже в 70-е годы и благодаря постоянному усовершенствованию достигла непревзойденного уровня.

В последнее время, все чаще используются частотные инверторы, которые обеспечивают плавное регулирование частоты вращения обычных асинхронных двигателей и поэтому могут весьма эффективно использоваться для большинства типов компрессоров. Тем не менее, возникает вопрос, является ли данная относительно дорогая технология (из-за стоимости инвертора) экономически обоснованной по сравнению с ранее описанными методами. Общая единая оценка в данном случае затруднена - вопрос следует рассматривать с учетом полного спектра перечисленных ниже технических возможностей и требований к точности регулирования.

В связи с этим целью данной работы является повышение энергоэффективности холодильных систем, работающих при переменной тепловой нагрузке за счет аккумуляции холода.

Рассмотрим системы, оснащенные однокомпрессорными холодильными установками. Известно, что эффективность работы холодильной системы зависит от величины тепловой нагрузки, которая отражается на температуре кипения холодильного агента.

Результаты расчетных режимов среднетемпературной холодильной установки, работающей на хладоне R404a, приведены в таблице 1. Как следует из этих данных при уменьшении температуры кипения на 30 °C снижается коэффициент преобразования энергии (COP), то есть эффективность работы системы уменьшается в 1,6 раз.

Таблица 1 - Характеристики работы среднетемпературной холодильной системы в зависимости от температуры кипения для R404a.

Температура кипения, °C	-10	-15	-17,5	-20	-25	-30	-35	-40
Холодопроизводительность, кВт	17,55	14,73	13,4	12,3	9,77	7,66	5,82	4,21
Потребление электроэнергии, кВт	9,72	8,57	8,03	7,51	6,52	5,72	4,66	3,79
Температура конденсации, °C	49,6	47,1	45,9	44,7	42,6	40,6	38,9	37,3
Температура переохлаждения, °C	3	3	3	3	3	3	3	3
Температура нагнетания, °C	80,1	79,2	79	78,9	79,7	81,3	84,2	88,8
COP	1,81	1,72	1,67	1,64	1,50	1,34	1,25	1,11

При этом следует учитывать, что при существенном снижении температуры кипения система начинает отключаться по «низкому давлению», а частое повторение циклов «пуск-выключение» снижает долговечность работы электродвигателя компрессора.

Чтобы предотвратить падение давления ниже рабочего и частые циклы «пуск-выключение» предлагается установить в качестве демпферной тепловой нагрузки аккумулятор холода прямого кипения. При понижении давления ниже рабочего система автоматики подает жидкий хладагент к регулирующему вентилю аккумулятора холода, где кипящий хладон отбирает теплоту от воды, охлаждая и замораживая её на трубах испарителя аккумулятора холода. В процессе работы аккумулятора температура кипения поддерживается на 2,5...7,7 °С ниже рабочей температуры установки. При повышении давления кипения до уровня рабочего процесс кипения прекращается, и аккумулятор холода переводится в режим переохлаждения холодильного агента. Для этого в трубы испарителя аккумулятора холода подается жидкий хладагент после прохождения конденсатора. В процессе таяния льда происходит переохлаждение жидкого хладагента. Следует учитывать, что каждый градус переохлаждения увеличивает производительность холодильной установки приблизительно на 1% и, соответственно, растет COP. Этот эффект подтверждается результатами расчетов, приведенных в таблице 2. Снижение тепловой нагрузки на холодильную систему компенсируется энергией затрачиваемой на замораживание воды в аккумуляторе. При этом температура в испарителе остается постоянной, а соответственно, и режим работы компрессора.

Таблица 2 - Изменение коэффициента преобразования энергии (COP) в зависимости от величины переохлаждения жидкого хладагента R404a.

Температура переохлаждения, °С	3	8	13	18	23	28	33	38
Холодопроизводительность, кВт	17,55	19,08	20,5	22	23,4	24,7	26	27,3
Потребление электроэнергии, кВт	9,72	9,72	9,72	9,72	9,72	9,72	9,72	9,72
Температура конденсации, °С	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6
Температура кипения, °С	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
COP	1,81	1,96	2,11	2,26	2,41	2,54	2,67	2,81

Таким образом, холодильная система получает возможность не только в режиме частичной нагрузки работать в обычном для себя диапазоне температур, а в режиме полной нагрузки работать с более высоким коэффициентом преобразования энергии, одновременно компенсируя более высокую (не расчетную) нагрузку на холодильную систему. Такая нерасчетная нагрузка, в частности, может быть вызвана суточными колебаниями температуры окружающей среды выше расчетной среднесуточной.

Отметим, что альтернативой предлагаемой схеме увеличения холодопроизводительности при нерасчетной нагрузке можно быть только применение частотного регулирования, однако использование повышенной частоты вращения электродвигателя ведет к повышению эксплуатационных нагрузок, увеличению энергопотребления и снижению COP.

На рис. 1 приведена схема реализации предлагаемого способа регулирования холодопроизводительности в условиях переменной тепловой нагрузки на холодильную систему.

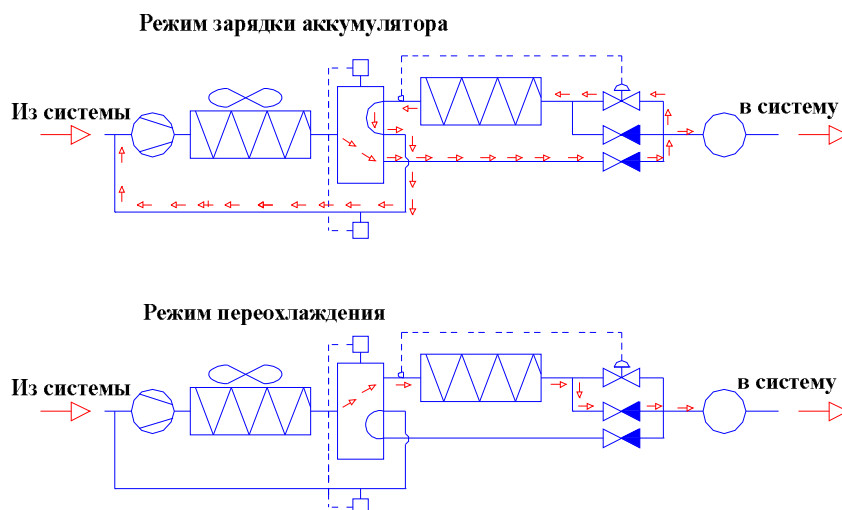


Рис. 1 – Схема работы холодильной системы в режиме аккумуляции холода и переохлаждения холодильного агента

Оценка эффективности любой системы регулирования холодопроизводительности осуществляется по следующим критериям:

- точность регулирования (соответствие холодопроизводительности или тепловой мощности фактически требуемой);
- холодильный коэффициент, т.е. эффективность системы;
- стоимость системы;
- эксплуатационная надежность.

В предлагаемой системе точность регулирования системы в данной схеме определяется точностью настроек и выбранным дифференциалом контроллера низкого давления, осуществляющего переключение режимов зарядки аккумулятора и переохлаждения жидкого хладагента.

COP растёт, а его повышение существенно зависит от суточных колебаний нагрузки на систему охлаждения.

Стоимость системы напрямую зависит от производительности аккумулятора.

Эксплуатационная надежность предлагаемой системы достаточно высокая, т.к. практически не имеет дополнительных движущихся частей и механизмов. Кроме того, работа компрессора имеет стабильный режим работы без частых включений и выключений и в достаточно узком диапазоне низкого давления.

Наиболее рациональное применение подобной схемы – среднетемпературные централизованные системы хладоснабжения магазинов на базе однокомпрессорных агрегатов.

Выводы. Предложенная система регулирования холодопроизводительности при переменных тепловых нагрузках за счет аккумуляции холода позволяет повысить энергоэффективность работы холодильной системы при сохранении высокой точности регулирования, низкой стоимости системы и эксплуатационной надежности оборудования.

Литература

1. Рей Д. Экономия энергии в промышленности: Справочное пособие для инженерно-технических работников. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
2. В. Маак, Г. – Ю. Эккерт, Ж. – Л. Кошпен. Учебник по холодильной технике: Пер. с франц. – М.: Издательство Московского Университета, 1998. – 1142 с.
3. Доссат Рой Дж. Основы холодильной техники. Пер. с англ. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 520 с.
4. Якобсон В. Б. Малые холодильные машины. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 368 с.

УДК 664.83

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ГРИБІВ

**Поперечний А.М., д.т.н., професор, Гніцевич В.А., д.т.н., доцент,
Корнійчук В.Г., к.т.н., доцент, Слащева А.В., к.т.н., доцент
Чехова Н.С., аспірант**

**Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського, м. Донецьк**

Наведено дані про вплив температури на процес конвективного сушіння грибів в нерухомому і псевдо-дозріженому шарах. За експериментальними даними побудовані криві сушіння, криві швидкості сушіння, термограми, запропоновано апаратне оформлення сушіння грибів.

The article shows the effect of temperature on the process of convection drying of mushrooms in stationary and pseudo-liquefied layer. Based on the experimental data curve constructed drying, drying rate curve, thermograms, proposed composition of hardware installations for drying mushrooms.

Ключові слова: сушіння, гриби, процес, параметр, термограма, вологовміст.

Розвиток харчової промисловості має тенденції до постійного росту виробництва сухих харчових продуктів. Проблема забезпечення населення білком останнім часом набуває все більшого значення. На думку вчених дві третини потреб людства в білку в майбутньому задовольнятиметься за рахунок споживання їстівних грибів. Культивовані гриби – цінний білковий харчовий продукт. Вони є джерелом незамінних амінокислот, вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон.