

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ковалева В.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Петруша Ю.С.

Мировое сообщество, обеспокоенное дефицитом энергоресурсов и ростом цен на энергоносители, ищет любые пути сокращения потребления энергии и потерь на всех этапах ее получения, передачи и использования в любых отраслях промышленного производства, вплоть до бытового сектора потребления.

Один из путей решения проблемы сокращения энергоресурсов – повышение энергоэффективности промышленного, бытового оборудования и технологических процессов производства. В настоящее время искусственный холод используется в промышленных масштабах и сопряжен со значительными затратами электроэнергии. Таким образом, повышение энергоэффективности холодильных установок даже на несколько процентов может сэкономить значительный объем энергоресурсов и денежных средств.

Целью данной работы является анализ мероприятий, способствующих повышению энергоэффективности холодильных установок.

На практике для разработки и реализации конкретных мероприятий по повышению энергоэффективности холодильного оборудования работающего, реконструируемого или вновь строящегося предприятия необходимо проводить его энергоаудит или экспертизу[1]. Общий алгоритм подобных процедур приведен на рисунке 1.

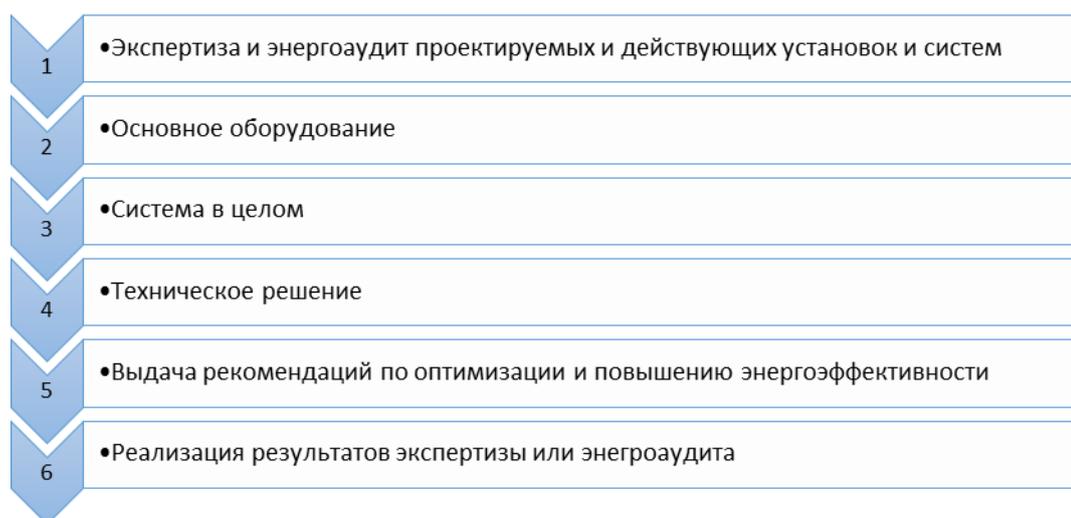


Рисунок 1 – Алгоритм проведения мероприятий по повышению энергоэффективности

### 1. Рекомендуемые мероприятия повышения энергоэффективности:

На сегодняшний день известно множество различных способов повышения энергоэффективности холодильных установок. Рассмотрим лишь некоторые из них, оказывающие наибольшее влияние на эффективность работы и не требующие значительных затрат денежных средств, такие как:

1) замена устаревшего оборудования современными холодильными машинами, подобранными исходя из величины эксплуатационных издержек минимум в течение года работы;

На сегодняшний день ряде отраслей промышленности возраст более 50% холодильного оборудования превышает 25 лет. Поэтому замена устаревшего оборудования хоть и подразумевает немалые финансовые затраты для предпринимателей, однако могут значительно повысить энергоэффективность и производительность работы холодильных установок[4].

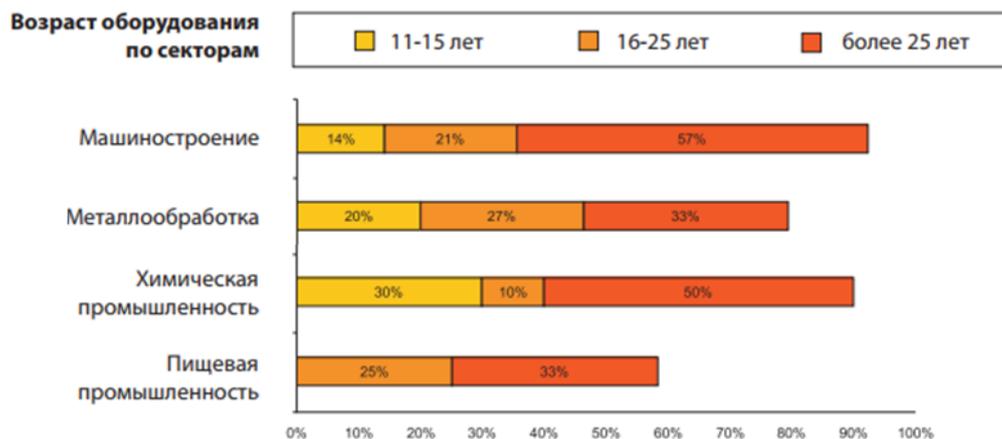


Рисунок 2 - Возраст систем охлаждения по отраслям промышленности в Республике Беларусь.

2) использование частотных преобразователей вращения двигателей компрессоров;

Частотный преобразователь скорости вращения электродвигателей позволяет путем изменения величины напряжения и частоты двигателя изменять скорость вращения асинхронного электродвигателя. Коэффициент полезного действия (КПД) такого преобразователя составляет не менее 98%. За счет установки частотного преобразователя на компрессор холодильной машины или вентиляторы воздушного конденсатора можно снизить пусковой ток и снизить потребление электроэнергии в работе оборудования [2].

3) применение более эффективных хладагентов;

4) учет географического местоположения при выборе холодильной установки;

Например, для расположенных на юге предприятий целесообразно применение испарительных конденсаторов для понижения температуры конденсации хладагента, для предприятий северного региона – использование систем для охлаждения промежуточного хладонносителя [3].

5) рациональное использование тепла, отдаваемого холодильным оборудованием;

Большая часть электроэнергии, потребляемой промышленным компрессором, преобразуется в тепловую энергию и должна быть отведена в окружающую среду. Во многих случаях грамотно спроектированная система способна обеспечить утилизацию от 50 до 90% этого тепла для производства горячего воздуха или воды.

Во-первых, это использование вырабатываемого тепла для воздушного отопления. В наиболее простом варианте в схему холодильной машины включены два параллельно установленных воздушных конденсатора. Один конденсатор установлен на улице и работает в теплое время года, второй – в помещении, работает в холодное время года и подогревает воздух. Перевод работы с одного конденсатора на другой может производиться как в ручную с помощью запорных вентилей, так и автоматически с использованием необходимой автоматики [4].

Во-вторых, тепло можно использовать для этого обогрева воды, требуемой для нужд предприятия. К конденсаторной линии холодильной системы через теплообменник подключаются бак-накопитель, насос. Возможен обогрев через промежуточный теплоноситель. Утилизация тепла с целью обогрева воды позволяет эффективно использовать лишь 20% тепла холодильной машины [3].

Наиболее целесообразно внедрять систему утилизации тепла на предприятиях, где потребность в холоде постоянная, и кроме него необходимо отапливать помещения.

б) оснащение каждой конкретной холодильной установки или холодильного комплекса собственной системой автоматизации;

Значительные результаты от использования систем автоматизации можно получить, за счёт использования разнообразных стратегий управления конденсатором. При этом регулирование выполняется, например, в зависимости от температуры окружающей среды, а саморегулирование, носит характер "плавающего". В таких алгоритмах, происходит

постоянная коррекция значения регулирования, в соответствии не только с температурой окружающей среды, но и внутренней логикой управления[3].

7) использование энергоэффективных компрессоров;

Так винтовые компрессоры как правило, имеют более высокий коэффициент полезного действия (КПД=0,9) при полной нагрузке, в то время как поршневые компрессоры имеют более линейный профиль нагрузки и выше эффективность при частичной нагрузке (КПД=0,6-0,7) [2].

8) применение плавного регулирования производительности компрессоров;

Тепловая нагрузка на холодильное оборудование не является постоянной в течении времени, например, при уменьшении температуры окружающей среды она падает. Следовательно, уменьшается необходимая производительность компрессора, работающего на охлаждение.

Основная задача, решаемая с помощью системы регулирования производительности, заключается в том, чтобы максимально приблизить кривую производительности компрессора при регулировании к кривой изменения нагрузки. Чем ближе находятся эти кривые, тем большую экономию электроэнергии можно получить.

9) оптимизация работы оборудования при минимальной нагрузке;

При снижении объемной производительности компрессора уменьшается и его степень сжатия и, как следствие, возникает повышенный расход электроэнергии, связанный с работой компрессора в режиме «недожатия» хладагента.

Так при работе холодильной системы с тепловой нагрузкой на менее 50% два параллельно работающих компрессора позволяют существенно снизить потребление электроэнергии. Это происходит за счет полного отключения одного из параллельно работающих компрессоров, а оставшийся компрессор работает в более эффективном режиме[2].

10) применение агрегатов с двухступенчатым сжатием;

11) установка системы управления вентиляторами конденсатора.

Добиться еще большей эффективности работы холодильного оборудования возможно при выполнении комплекса мероприятий в зависимости от назначения и особенностей эксплуатации.

## **2. Сравнение различных технологий сжатия при работе холодильных установок в разных климатических условиях**

Комплексный подход к повышению энергоэффективности работы холодильных установок рассмотрим на примере различных технологий сжатия компрессора воздухоохладителя, оборудованного спиральным компрессором.

### **2.1. Сравнимые варианты:**

1. 1 контур, 1 FS;
2. 2 контура, 1 FS в цикле;
3. 1 контур, 2 FS параллельно;
4. 1 контур, 1 VS;
5. 1 контур, 1 VS, РМ.

Где FS - компрессор с постоянной скоростью вращения;

VS - компрессор с переменной скоростью вращения;

РМ - двигатель с постоянными магнитами.

Для сравнения была взята модель с 1 контуром и постоянной скоростью вращения в качестве базовой.

### **2.2. Метод**

Анализ выполняем с использованием сезонного графика изменения нагрузок, который напрямую зависит от области применения оборудования и климата. Дабы определить влияние климатических условий на работу холодильного оборудования, рассмотрим два наиболее отличающихся по температурному режиму города в Беларуси – Брест и Витебск.

Для каждой установки был имитирован целый год работы. Во всех моделях был использован один график тепловых нагрузок, одинаковые климатические условия и параметры эксплуатации. Две серии имитаций были выполнены с изменением и без изменения скорости вращения вентиляторов воздушного конденсатора. Данные сравнения позволяют нам сопоставить воздействие процесса сжатия и изменения параметров теплообмена в конденсаторе для определения наиболее выгодного компрессора.

В качестве главного критерия оценки эффективности работы установок искусственного холода используем коэффициент производительности (COP).

### 2.3. Влияние выбора компрессора

Две таблицы, приведенные ниже, содержат результаты расчетов для базовой модели водоохладителя в обоих климатах и для каждой технологии сжатия:

Таблица 1: Сравнительные результаты в Бресте и Витебске

	1 контур, 1 FS (базовый)		2 контура, 1 FS в цикле		1 контур, 2 FS параллельно		1 контур, 1 VS		1 контур, 1 VS, PM	
	Б	В	Б	В	Б	В	Б	В	Б	В
Годовое потребление, кВтч	48720	44447	49599	45209	47341	42942	48645	44077	37969	34137
Годовая экономия электроэнергии, кВтч	0	0	839	761	-1379	-1505	-75	-370	-10751	-10310
COP	4,48	4,78	4,41	4,70	4,61	4,95	4,49	4,82	5,75	6,22

Б-Брест; В-Витебск.

Вначале изучалось влияния климата на производительность установки.

На основе полученных результатов можно выявить, что климат оказывает существенное влияние на производительность установки. Так уровень потребления электроэнергии системы в Витебске в среднем на 10% оказался ниже, чем в Бресте. Эта разница возникает независимо от использованной технологии сжатия или управления теплообменом конденсатора

Также наблюдается пятипроцентная разница производительности в пользу двухконтурной холодильной по сравнению с производительностью одноконтурной системы, которая имеет в своём составе два компрессора такого же типа, установленных параллельно.

Когда испытывались компрессоры с переменной скоростью вращения, оснащенные двигателями PM, они показали значительное преимущество по сравнению с базовой конструкцией компрессора. Преимущество в годовой экономии составило 20%. Это происходит благодаря высокой эффективности компрессора при низкой скорости двигателя и оптимизации внутренней конструкции.

### 2.4. Влияние изменения теплопередачи конденсатора

Целью данной части является оценка необходимости изменения скорости вращения вентиляторов конденсатора в соответствии с изменением климатических условий.

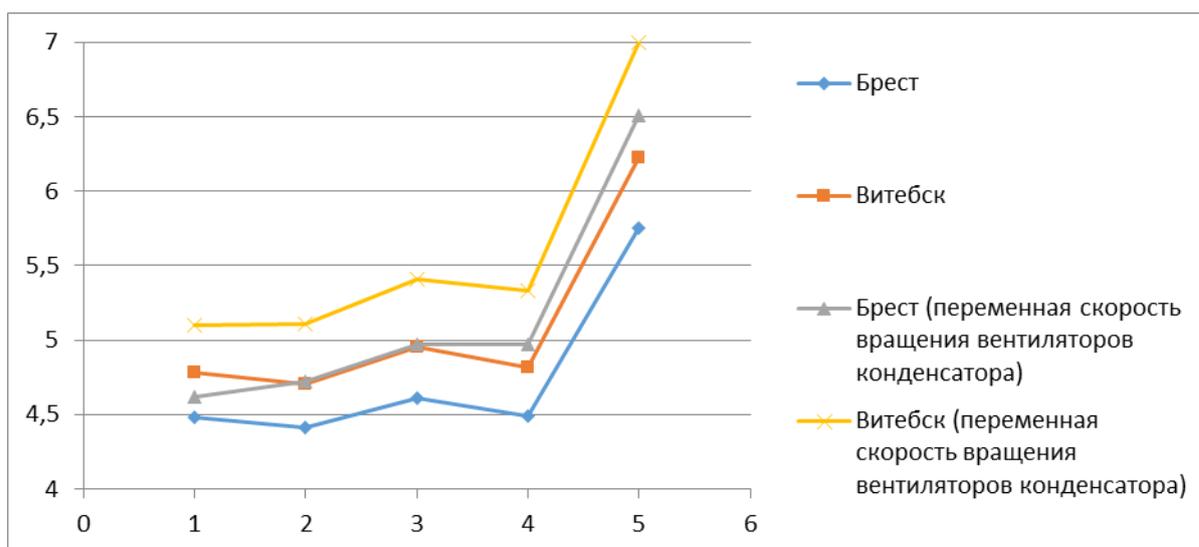
С изменением скорости вращения вентилятора увеличение годового значения COP может составить 9%. В случае использования компрессоров с переменной скоростью вращения, имеющих двигатели PM, увеличение годового значения COP может достигнуть 13%.

Регулирование скорости вращения вентиляторов позволяет извлечь максимальную пользу из оптимальных решений, достигаемых при изменении производительности компрессора.

Таблица 2: Сравнительные результаты в Бресте и Витебске (вентиляторы конденсаторов с переменной скоростью вращения)

	1 контур, 1 FS (базовый)		2 контура, 1 FS в цикле		1 контур, 2 FS параллельно		1 контур, 1 VS		1 контур, 1 VS, PM	
	Б	В	Б	В	Б	В	Б	В	Б	В
Годовое потребление, кВтч	47277	41679	46232	41590	43904	39265	43908	39884	33558	30354
Годовая экономия электроэнергии, кВтч	0	0	-1045	-89	-3373	-2414	-3369	-1795	-13719	-12085
COP	4,62	5,10	4,72	5,11	4,97	5,41	4,97	5,33	6,51	7,00

На следующем рисунке показаны все значения сезонных COP, определенные в соответствии с климатическими изменениями:



1,2,5 – Принятые варианты конструктивного исполнения.

Рисунок 2 - Результаты влияния выбора технологии сжатия и регулирования теплообмена в конденсаторе на годовой COP

### 3. Заключение

Холодильное оборудование стало неотъемлемой частью жизни современного человека. Оно получило широко распространение как в быту, так и различных сферах промышленности. Поэтому повышение энергоэффективности холодильных установок даже на несколько процентов может сэкономить значительный объем энергоресурсов и денежных средств плательщиков.

В данной работе проведен анализ методов повышения энергоэффективности холодильного оборудования, а также выполнено сравнение различных технологий сжатия при работе холодильных установок в разных климатических условиях.

Сравнение технологий сжатия показало, что:

- Изменение сезонной производительности из-за влияния климатических условий в данном примере составляет 10 %.

- Изменение частоты вращения вентиляторов конденсатора само по себе даёт около 9% увеличения средней сезонной производительности.
- Использование компрессоров с двигателем РМ и переменной скоростью вращения является на данный момент оптимальным техническим решением для обеспечения максимальной сезонной производительности.
- Пример водоохладителя показал, что выбор технологии сжатия является очень важным, и что его влияние на годовое значение COP может достигать 54%.

В целом мероприятия по энергоэффективности и энергосбережению дают неизменно положительный результат снижая тем самым электропотребление, повышая эффективность работы оборудования, так и позволяют получить в перспективе значительную экономическую выгоду.

В Беларуси имеется значительный потенциал в повышении энергоэффективности холодильного оборудования, более 30% которого морально и физически устарело и требует замены [4]. При выборе холодильного оборудования очень важен правильный подбор оптимальной для конкретной установки хладоснабжения системы автоматизации и контроля. Также необходимо учитывать характерность климатических условий в месте установки. Однако при недостаточности финансирования на новое оборудование возможно проведение мероприятий по улучшению эффективности работы уже эксплуатируемых систем.

#### Литература

1. А.А. Андигевский, В.И. Володин. Энергосбережение и энергетический менеджмент. – Минск.: Вышэйшая школа, 2005;
2. В.Н. Виниченко, Е.Г. Гашо, Т.В. Гусева. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности – 2009;