

УДК 536.8

## УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Кудин Р.В.

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

Для искусственного создания холода в настоящее время получили применение несколько типов холодильного оборудования, самыми распространёнными из них являются парокompрессионные, абсорбционные, парожеторные, газовые и термоэлектрические установки [1].

### Типы холодильного оборудования

**1. Парокompрессионные установки** состоят из компрессора, испарителя, конденсатора, дросселирующего устройства и хладагента, в качестве которого выступают фторхлорбромпроизводные углеводородов. Данные установки работают в диапазоне 113-278К и имеют мощность вплоть до нескольких десятков киловатт. Принцип работы основан на обратном цикле Ренкина, состоящем из фазовых переходов хладагента (испарение и конденсация) [1].

**2. Парожеторные установки** используют внешний источник тепла, например, перегретый пар с температурой, которая может достигать 300-400°С. В условиях эксплуатации такой пар доставляется напрямую от парогенератора электрической станции, котельной или иного доступного источника. Пар подаётся в жетор — устройство расширения и охлаждения пара, далее пар участвует в теплообмене в компрессоре установки, чем создаёт давление на рабочее тело. В дальнейшем принцип действия схож с принципом действия парокompрессионной установки. Парожеторные установки применяются на производствах, на которых имеется возможность подведения первичного теплоносителя, однако ввиду больших потерь тепла в жеторе, обладают низкой энергоэффективностью. [1].

**3. Абсорбционные холодильные установки** также используют тепло внешнего источника, однако их принцип действия основан на абсорбции жидкой фазой рабочего тела газовой фазы рабочего тела, при чём выделяется некоторое количество тепла. Рабочее тело представляет собой двухкомпонентный раствор хладагента и абсорбента, причём первый находится как в жидкой, так и в газовой фазе, тогда как второй только в жидкой фазе. Такой тип холодильных установок применяется на производстве, связанном с производством компонентов рабочего тела и (или) при наличии достаточного количества «отходов» тепла, что существенно повышает энергоэффективность предприятия [3].

**4. Газовые холодильные установки** используют для работы расширение потоков различных газов, в том числе и воздуха. Такие установки просты в производстве, мобильны, неметаллоёмки, однако из-за низкого коэффициента полезного действия они малоэффективны [1]. По экономическим соображениям и в целях повышения энергоэффективности агрегаты данного типа могут иметь несколько большую область применения ввиду их

применения для технологических нужд на отдельных участках газотранспортной сети или других областях, где возможно дросселирование подаваемого под давлением газа [2].

**5. Термоэлектрические установки.** В настоящее время некоторое распространение получили термоэлектрические холодильные установки, чей принцип работы основан на термоэффекте при подаче постоянного напряжения на два соединённых проводниковых или полупроводниковых элемента. В качестве материала используются твёрдые растворы висмута, теллура и селена. При низкой экономичности и высокой стоимости данные установки обладают возможностью как поглощать, так и создавать тепло [1].

#### **Показатели энергоэффективности**

Основой управления энергоэффективностью при эксплуатации холодильного оборудования является рационализация режимов использования установок. Так, подбор оптимального состава оборудования, оптимизация загрузки и теплоизоляция отдельных частей агрегатов позволяют повысить коэффициент полезного действия для конкретного набора оборудования [4].

Для описания степени совершенства внутренних процессов, происходящих в газорасширительных машинах, и дачи оценки их газодинамического качества используют понятие внутреннего КПД, называемого иногда [1, с.290] термодинамическим или индикаторным. Стоит отметить, что при расчётах эффективности использования холодильного оборудования намеренно пренебрегают потерями тепловой энергии в холодильной камере, а останавливаются, прежде всего, на исследовании компрессоров. В настоящее время в практике исследования тепломеханических машин существуют два подхода к определению их КПД [1].

Первый подход даёт возможность оценить значение потерянной мощности или удельной работы, затраченной на преодоление внутренне необратимых потерь:

внутренних протечек в компрессоре, увеличивающих фактический расход вещества через рабочие органы и локализованных внутри машины;  
 трения вещества о поверхности элементов компрессора, достигающего высоких значений в определённых видах компрессоров.

Второй подход позволяет вычислить отношение мощности или работы теоретической машины, в которой осуществляется некоторый эталонный процесс, к мощности или работе действительной машины. Теоретическая машина должна работать при тех же рабочем веществе, его параметрах на входе, отношении давлений и массовом расходе, что и действительная. Для компрессоров в качестве эталонного выбирают изоэнтропный и изотермный процесс сжатия для неохлаждаемых и охлаждаемых машин соответственно [1].

В реальных условиях эксплуатации холодильных установок значение КПД не оказывает решающего влияния на выбор типа применяемой установки. Это обусловлено тем, что, как уже отмечалось, стоимость, распространённость оборудования и потребление электрической энергии у разных типов установок разнятся в достаточно широких пределах [4] из-за различности из областей применения: технологические нужды различных производств, хранения

пищевых продуктов, кондиционирование и вентиляция жилых, производственных и общественных зданий. По этой причине подбор типа холодильной установки должен быть осуществлён по техническим, экономическим и эксплуатационным соображениям. Они обусловлены условиями производственных процессов на отдельно взятом предприятии, необходимой холодильной мощности оборудования, возможным уровнем электропотребления, объёмом холодильной камеры проектируемой установки, климатическими данными и различными нормативно правовыми актами [2].

### **Технико-экономическое сравнение различных вариантов оборудования**

Для технико-экономического сравнения некоторых моделей современных холодильных установок различных типов воспользуемся предположением об одинаковой мощности данных агрегатов, а расчёты произведём по методу приведенных затрат. За образцы примем наиболее часто встречаемые типы исследуемого оборудования — парокompрессионные и абсорбционные различных номинальных мощностей. В качестве области применения примем необходимость понижения температуры оборотной воды. На практике данной цели добиваются с помощью установки так называемых чиллеров парокompрессионного или абсорбционного типа [4], [5], [6].

В данной работе рассмотрена целесообразность выбора установки холодильной мощностью 30-300кВт для применения в системах кондиционирования зданий. Ввиду сложности предлагаемых расчётов сделан ряд допущений:

В качестве основных вариантов представлены агрегаты парокompрессионного и абсорбционного типа, получившие наиболее широкое применение в подобных системах;

Уровень рассматриваемой холодильной мощности соответствует уровню потребления холода для современных офисных помещений площадью 500-4000 квадратных метров [8];

Стоимость транспортировки и монтажа оборудования учтена с помощью поправочного коэффициента стоимости  $K=1,5$ ;

Ввиду трудоёмкости поиска соответствующей информации, в качестве исходных данных были использованы каталожные данные оборудования, приведенные в российских интернет-магазинах;

По этой же причине были использованы данные только о продукции нескольких производителей соответственно для каждого типа оборудования;

В качестве условной денежной единицы стоимости примем белорусские рубли, пересчитанные исходя из цены в российских рублях и пересчитанных по курсу НБРБ на 26.12.2018 [7].

Их паспортные данные сведём в таблицы 1 и 2.

Таблица 1 — Данные о некоторых холодильных установках парокompрессионного типа

Модель	Dantex DN-035EBF/SF	Dantex DN-065EBF/SF	Dantex DN-130EBF/SF	Energolux SCAW-M130ZCT	Energolux SCAW-M260ZHT
Мощность охлаждения, кВт	35	65	130	130	260
Мощность нагрева, кВт	37	65	138	130	280
Электрическая мощность, кВт	11,5	20,4	42,3	41,9	83,8
Стоимость, руб.	17666,78	28439,08	60810,76	48147,82	110674,88

Таблица 2 — Данные о некоторых холодильных установках абсорбционного типа

Модель	Thermax LT-2	Thermax LT-3	Thermax LT-5	Thermax LT-6	Thermax LT-8
Мощность охлаждения, кВт	70	106	176	229	281
Мощность электрическая, кВА	5,1	5,1	5,1	5,7	6,9
Стоимость, руб.	51492,23	81016,79	139540,25	160548,65	206809,88

Далее рассчитаем удельные капитальные вложения в единицу холодильной мощности, а результаты представим в таблице 3.

Таблица 3 — Удельные капитальные вложения в различные модели холодильного оборудования различных типов

Парокompрессионные установки					
Модель	Dantex DN-035EBF/SF	Dantex DN-065EBF/SF	Dantex DN-130EBF/SF	Energolux SCAW-M130ZCT	Energolux SCAW-M260ZHT
Удельные капитальные вложения, руб/кВт	757,15	656,29	701,66	555,55	638,51
Абсорбционные установки					
Модель	Thermax LT-2	Thermax LT-3	Thermax LT-5	Thermax LT-6	Thermax LT-8
Удельные капитальные вложения, руб/кВт	1103,40	1146,46	1189,26	1051,63	1103,97

Таким образом, усреднённые значения удельных капитальных вложений в холодильные установки парокompрессионного и абсорбционного типа находятся по формуле 1.

$$k_0 = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot P_{xi}}{\sum_{i=1}^n P_{xi}}, \quad (1)$$

Где  $k_0$  — усреднённые удельные капитальные вложения в холодильные установки;

$K_i$  — капитальные вложения в  $i$ -ую холодильную установку определённой модели;

$P_{xi}$  — холодильная мощность холодильной установки  $i$ -ой модели;

$n$  — число рассматриваемых установок в одном классе.

Соответственно, усреднённые значения удельных капитальных затрат в парокompрессионные и абсорбционные холодильные установки:

$$k_0^{нк} = 642,91 \text{ руб} / \text{кВт}, \quad k_0^{abc} = 1112,66 \text{ руб} / \text{кВт}.$$

Зададимся некоторой базовой мощностью холодильного аппарата, рассчитанной исходя из данных таблицы 1 и 2 аналогичным с усреднёнными капитальными вложениями методом, и произведём расчёт по приведенным затратам. В качестве эксплуатационных издержек примем затраты на электрическую энергию при условии, что агрегат работал на протяжении 8760 часов без остановки на номинальной мощности. Коэффициент мощности примем равным 0,8.

Тогда:

$$Z = k_0 \cdot p_x + I, \quad (2)$$

$$I = \beta_n \cdot P_{эл} \cdot 8760, \quad (3)$$

Где  $Z$  — Приведенные затраты, руб.;

$p_x$  — усреднённое значение мощности холодильных установок определённого типа, кВт;

$I$  — величина эксплуатационных издержек, руб.;

$\beta_n$  — стоимость единицы электрической энергии, руб/кВт\*ч;

$P_{эл}$  — усреднённое значение электрической мощности холодильных установок определённого типа.

Результаты сведём в таблицу 5.

Метод оценки стоимости оборудования по удельным приведенным затратам не отражает как увеличение энергопотребления при увеличении холодильной мощности установок парокompрессионного типа, так и фактическая неизменность энергопотребления установок абсорбционного типа [1]. Применение данного метода может быть оправдано только при рассмотрении достаточно узкого диапазона указанных параметров, а результат может быть иным для различных исходных данных, в том числе зависеть и от выбора производителя оборудования.

Таблица 5 — Результаты расчётов

Тип установки	Парокомпрессионная	Абсорбционная
Холодильная мощность, кВт	170,87	205,863
Электрическая мощность, кВт	55,495	5,846
Эксплуатационные издержки, руб.	89497,95	7542,35
Приведенные затраты, руб.	199351,98	236597,88
Удельные приведенные затраты, руб./кВт	1166,68	1149,29

Следуют также отметить, что при иной методике расчёта капитальных вложений на транспорт и монтаж оборудования, итоговый результат может значительно отличаться от полученного выше. Эффективность применения других типов холодильных установок значительно зависит от технических условий, поэтому их непосредственное сравнение по предложенному методу должно осуществляться с учётом:

- специфики производства и применения в определённых зданиях и т.п.;
- разницы капитальных затрат на установку различного оборудования;
- критериев безопасности, надёжности и экологичности.

Поэтому нахождение значений удельных приведенных затрат для каждого типа холодильного оборудования не может быть осуществлено в отрыве от их области применения. В условиях произведённых расчётов полученный результат отражает эффективность использования оборудования рассматриваемого диапазона.

### Заключение

Из приведенных выше расчётов можно сделать следующие выводы:

1) Был произведён расчёт экономической эффективности использования установок парокомпрессионного и абсорбционного типа для применения в системе кондиционирования офисных помещений площадью 500-4000 квадратных метров.

2) Минимум удельных приведенных затрат, выражающих стоимость использования единицы мощности установки, достигается при использовании абсорбционных установок за счёт намного меньших (в 19,7 раз) эксплуатационных издержек.

3) К неэкономическим преимуществам абсорбционных установок по сравнению с установками парокомпрессионного типа относятся:

- экологическая безопасность, достигаемая за счёт неприменения хладагентов на основе бром-фтор-хлор производных углеводородов,
- пониженный шум,
- отсутствие давления в системе,
- отсутствие массивных движущихся деталей,
- высокая надёжность,

возможность использования различных теплоносителей: горячая и холодная вода, природный газ, выхлопные газы ДВС и т.д.[1]

4) В свою очередь установки парокомпрессионного типа имеют низкую (в 2,3 раза) стоимость, простоту конструкции, транспортировки и монтажа по сравнению с абсорбционными установками.

5) Произведённое сравнение корректно только в условиях смежной области применения установок, а некоторые ограничения накладывают сроки эксплуатации и амортизации оборудования, требующие дополнительных расчётов по методике [2], не рассмотренной в данной работе.

6) Разница в стоимости использования единицы мощности холодильной установки составляет 17,39 руб/кВт, что составляет 1,49% от стоимости использования единицы мощности холодильной установки парокомпрессионного типа. Это означает, что в условиях произведённого сравнения выбор типа установки должен осуществляться, прежде всего, на основании преимуществ, указанных в пунктах 3, 4 и 5 заключения к данной работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Холодильные машины: Учебник для студентов вузов специальности «Техника и физика низких температур» / А. В. Бараненко [и др.]: Под общ. ред. Л. С. Тимофеевского. — СПб.: Политехника, 1997 г. — 992 с.
2. Проектирование холодильников. / Ю.С. Крылов [и др.].— М.: «Пищевая промышленность».— 1972.— 310с.
3. Шилкин, Н.В. Абсорбционные холодильные машины // АВОК.— 2008.—№1.— с. 32-54. П
4. Быков А.В. Эксплуатация холодильников. Справочник. —М.: Пищевая промышленность, 1977.
5. Чиллеры [Электронный ресурс].— URL: <https://cityclimat.ru/shop/prom/chillery/> (дата обращения 26.12.2018)
6. АБХМ на горячей воде [Электронный ресурс] — URL: <http://abxm-thermax.ru/abxm/abxm-na-goryachej-vode/> (дата обращения 26.12.2018)
7. Официальный курс белорусского рубля по отношению к иностранным валютам, устанавливаемый Национальным банком Республики Беларусь ежедневно, на 26.12.2018 [Электронный ресурс] — URL: <https://www.nbrb.by/statistics/rates/ratesDaily.asp> (дата доступа 26.12.2018)
8. Расчет мощности кондиционера, подбор кондиционера по площади [Электронный ресурс] — URL: <http://www.xiron.ru/content/view/30460/127/> (дата доступа 26.12.2018)