

## Снижение электропотребления крупными объектами

1. Современные объекты нового строительства и реконструируемые, такие как административные здания, бизнес-центры, отели, торгово-развлекательные комплексы и др., должны быть, для эффективного функционирования, обеспечены:

§ электроэнергией,

§ теплотой,

§ холодом.

2. В предыдущие, 80 – 90-е годы, необходимыми были только электроэнергия и тепло, системы кондиционирования практически не применялись, энергетические ресурсы поступали на объекты из городских централизованных сетей.

В части электроснабжения начинают получать распространение системы когенерации.

Обеспечение объекта теплом возможно от центральных сетей и от автономных источников.

Обеспечение объектов холодом традиционно идет через потребление электроэнергии парокомпрессионными холодильными машинами.

3. Общество, даже профессиональное, явно недооценивает энергоемкость третьего ресурса – холода. Известно, что потребность объекта в холоде для систем кондиционирования может составлять до 75÷90% от потребности объекта в теплоте!
4. Все кризисы с подачей электроэнергии и в Москве, и в США приходится на лето, т.е. тогда, когда системы кондиционирования начинают потреблять электроэнергию и вырабатывать холод.
5. Для торгово-развлекательного центра общей площадью ~ 30.000 м<sup>2</sup> потребность в холоде для условий Москвы и Санкт-Петербурга составляет примерно  $Q_0 = 2500$  кВт. Для ее выработки с помощью парокомпрессионных машин к ТРЦ необходимо подвести электрическую мощность  $N_e = 980$  кВА.
6. Системы кондиционирования начинают существенно перегружать электросети. Выход заключается в использовании абсорбционных холодильных машин (АБХМ).
7. В последние 9 лет производство АБХМ в мире возросло в разы. Наиболее широкая практика их применения накоплена в США и Японии, а в последние 5 лет, и в Европе.
8. С точки зрения экономики города, его экологической чистоты наилучшим решением является использование в период май-сентябрь горячей воды, подаваемой ТЭЦ.

Следует отметить, что реальный электрический КПД существующих в Москве и Санкт-Петербурге электрогенерирующих мощностей находится в диапазоне 32-35%. Это означает, что из 100% химического потенциала природного газа 32-35% переходит в электроэнергию, а 65-68% необратимо уходят в тепло. В летний период платежеспособного спроса на тепло нет и его ТЭЦ приходится сбрасывать в атмосферу.

Вероятно, скажем это очень осторожно, есть организационно-технические возможности питать горячей водой ТЭЦ с  $t_w \approx 90-95^\circ\text{C}$  крупные объекты. Но тогда ревизию и сервис сетей необходимо будет вести в два этапа с 25.04 по 10.05 и с 15.09 по 30.09, а не с 01.06 по 25.06.

Более реалистично иное.

9. На тех объектах, где есть или планируется устройство автономного источника теплоснабжения – автономной газовой котельной (АГК), применение той или иной абсорбционной холодильной машины – разумный и экономически выгодный ход по снижению электропотребления.

В теплый период года, АГК вырабатывает горячую воду и подает ее в АБХМ. АБХМ вырабатывает из единицы теплоты  $Q = 1,0$ , холод в количестве  $Q_0 = 0,75Q$ .

Сопоставление капитальных затрат на парокompрессионную и абсорбционную технику показывает, что при  $Q_0 > 1000$  кВт АБХМ либо равны по стоимости ПКХМ, либо дешевле их.

Эксплуатационные затраты на работу АБХМ ниже затрат на работу ПКХМ на 30-35 %.

Если описываемые варианты проанализировать по величине приведенных затрат ( $\Pi = E \cdot K + \text{Э}$ ) с учетом платежей за электроподключение, то будет видно, что АБХМ в 2,0÷3,0 раза эффективнее в экономическом плане, чем ПКХМ.

10. Если в составе АГК использовать АБХМ с прямым газовым нагревом, то в холодный период года эти АБХМ работают как обычные котлы с горелкой Weishaupt с  $E = 0,925$ , а в теплый период года вырабатывают холод  $Q_0 = 1,35 Q$ .

Так как эти АБХМ работают круглогодично и интегрируют в себя газовый котел, то их стоимость в ~1,5 раза выше, чем АБХМ, работающих на горячей воде.

Однако, эффективность таких машин уже не  $\frac{Q_0}{Q} = 0,75$ , а  $\frac{Q_0}{Q} = 1,35$ . То есть из 1,0 теплоты сгоревшего природного газа вырабатывается 1,35÷1,38 единиц холода.

Сопоставляя эксплуатационные затраты на обсуждаемые АБХМ с затратами на электропотребление ПКХМ, увидим, что они соотносятся как 30% и 100%.

11. Анализ по величине приведенных затрат, несмотря на то, что АБХМ с прямым газовым нагревом дороже ПКХМ, дает тот же результат, что и по п.9. То есть приведенные затраты на АБХМ в 2,0÷3,0 раза ниже, чем на ПКХМ.
12. Можно уверенно утверждать, что абсорбционные холодильные машины гармонизируют интересы инвестора, общества и природы.

Подтвердим сформулированный тезис аргументами.

- 12.1 Приведенные затраты на АБХМ не на 15÷20%, а в 2,0÷3,0 раза ниже, чем на электропотребляющие ПКХМ. Этот вывод весьма важен для инвесторов.
- 12.2 АБХМ разгружают электросети, освобождая мощности ТЭЦ для тех технологий, которые не реализуются без электроэнергетики. Это важно для города и новых инвестиционных проектов.
- 12.3 АБХМ являются «зелеными» машинами, то есть они не нарушают экологического баланса; не разрушают озоновый слой планеты; не способствуют глобальному потеплению (то есть не противоречат протоколам Монреаля и Киото).

Ситуации, когда вектор интересов инвесторов, природы и общества совпадает, предложение технически и организационно реализуемо (есть мировая и хорошая отечественная практика) – случается крайне редко и мы рады проинформировать об этом профессиональное сообщество.

## **О некоторых преимуществах абсорбционных холодильных машин**

Примерно 10 лет назад в нашей стране началось сначала единичное, затем широкое практическое применение кондиционеров для создания комфортных условий в помещениях различного назначения. В подавляющем большинстве случаев это были сплит-системы (системы с раздельным компрессорно-конденсаторным и испарительным агрегатами). Нередко можно было наблюдать, как на фасадах реконструируемых административных зданий появлялось до двух сотен наружных блоков этих систем.

По существу это не были кондиционеры, они не могли поддерживать заданный газовый состав воздуха в помещении, регулировать его влажность. Единственной их функцией являлось охлаждение воздуха за счет кипения хладагента в испарительном агрегате.

Позднее для таких объектов как отели, бизнес-центры и другие подобные здания, требующие для своего функционирования обеспечения определенного микроклимата, стали применять парокомпрессионные водоохлаждающие машины (ПКХМ), приточные камеры для подачи свежего наружного воздуха и вентиляторные доводчики.

Сейчас рост потребности в холоде для систем кондиционирования воздуха (СКВ) продолжается. Величина требуемой холодопроизводительности для новых крупных объектов, таких как аквапарки, торгово-развлекательные центры площадью 30 000 – 100 000 м<sup>2</sup>, складские зоны логистических терминалов для обработки фармацевтической продукции, листового чая и табака возрастает до 5 000 ÷ 8 000 кВт. Использование на подобных объектах парокомпрессионных машин порождает ряд технических проблем, решение которых существенно удорожает выработку «холода».

Следует отметить, что и роль систем кондиционирования для упомянутых объектов возрастает. Из систем, только обеспечивающих комфортные условия в помещениях, они становятся для них частью технологического процесса. Так, каждая минута пребывания человека в торговом центре увеличивает его доход, поэтому разрабатываются специальные технологии удержания покупателей в зале. И СКВ существует уже не как дополнительная опция, а способствуют развитию доходности предприятий и становятся одной из основных технологических систем.

Можно считать, что тенденция роста площади единичного строительного объекта определилась окончательно. Появление сверхкрупных объектов в Москве, а затем и в Санкт-Петербурге указывает на то, что в течение ближайших 3÷5 лет эта тенденция распространится и на другие города России.

Таким образом, если строительство объектов площадью 30 000 – 100 000 м<sup>2</sup> становится тенденцией, то полезно выработать принципиальный подход и к системам холодоснабжения этих объектов.

Все инженерные системы любого объекта связаны друг с другом либо функционально, либо через систему управления. Рассматривая варианты решения проблемы холодоснабжения, нужно в первую очередь учитывать, как решены вопросы тепло- и электроснабжения. Проблема теплоснабжения крупных объектов решается обычно путем устройства автономной котельной. Решение же проблемы электроснабжения, а речь идет о мегаваттах электрической мощности, решается крайне сложно и дорого.

В том случае, если объект оснащается автономной газовой котельной, то для систем холодоснабжения с требуемой холодопроизводительностью  $Q_0 > 500$  кВт су-

существует безальтернативное решение – абсорбционные холодильные машины (АБХМ).

Первым и основным преимуществом абсорбционной холодильной машины является то, что она не потребляет электроэнергию на реализацию холодильного цикла. Электроэнергия расходуется только на перемещение сред – работу насосов и вентиляторов. В данном случае дело не в том, что электроэнергия дорога для потребителя, а в том, возможно ли подключение к сети, и если возможно, то стоимость «подключения к сетям» ОАО «Ленэнерго» в отдельных случаях доходит до 1000 долл. США за 1кВт. Аналогичные проблемы могут возникнуть и в других городах, снабжаемых электроэнергией от РАО «ЕЭС России»

Рассмотрим варианты применения абсорбционных и парокомпрессионных холодильных машин на примере.

Предположим, что для работы СКВ требуется холодопроизводительность  $Q_0 = 1000\text{кВт}$ . При холодильном коэффициенте  $\epsilon = 3,0$  для выработки  $Q_0 = 1000\text{кВт}$  требуется электрическая мощность  $N_e = Q_0/\epsilon = 1000/3 \approx 330\text{ кВт}$ . Из приведенного расчета следует, что кроме затрат на собственно парокомпрессионную машину (это, примерно, 200 долл. США за 1,0 кВт «холода»), инвестор должен заплатить за присоединение к электросети сумму, равную  $\sim 330\,000$  долл. США, т.е. общие инвестиции в холодильную машину (но не в систему холодоснабжения) составят 530 000 долл. США.

Иначе складывается ситуация с использованием абсорбционных холодильных машин. Если в автономную котельную все инвестиции уже сделаны, никакие дополнительные затраты не требуются. Собственно абсорбционная холодильная машина холодопроизводительностью 1000кВт стоит, примерно, 150 000 долл. США, а с учетом стоимости градирни (она составляет  $\sim 15\%$  от стоимости АБХМ), затраты на абсорбционную машину составят  $\sim 175\,000$  долл. США.

Соотнося инвестиционные затраты обоих рассматриваемых вариантов, мы получаем (в тысячах долларов)  $530/175 \approx 3,0$ , из чего следует, что абсорбционная холодильная машина имеет существенные экономические преимущества перед парокомпрессионной.

Рассмотрим теперь эксплуатационные характеристики обеих машин. Фактическая потребность в холоде для СКВ (для климатических условий Санкт-Петербурга) возникает с середины мая до середины сентября. Заметим, что автономная котельная в этот период либо остановлена, либо работает только на нужды горячего водоснабжения с нагрузкой, составляющей около 15% от расчетной. Продолжительностью периода, когда есть потребность в «холоде», составляет примерно 120 суток. Принимая интегральную загрузку холодильной машины, равную 0,5 от номинальной холодопроизводительности (исключая ночное время, выходные дни), определим затраты на работу ПКХМ, из расчета стоимости электроэнергии 1,45 руб/кВт·ч. Они составляют  $\approx 689\,000$  руб., т.е.

$\mathcal{E}_{\text{ПКХМ}} = 0,69$  млн.руб. за весь теплый период года.

Одноступенчатые абсорбционные холодильные машины (рис. 1), работающие на горячей воде с  $t_w = 90 \div 98^\circ\text{C}$ , имеют тепловой коэффициент  $\zeta = Q_0 / Q_r = 0,75$ , где  $Q_r$  – количество теплоты, поступающее в машину от греющей среды. Отсюда следует, что в автономной котельной необходимо сжечь определенный объем природного газа для получения этого количества теплоты, а именно:  $Q_r = Q_0 / 0,75 = 1\,000 / 0,75 = 1330\text{ кВт}$ .

Принимая КПД котельной, равным 0,9 при теплотворной способности природного газа  $\sim 35\,000\text{ кДж/м}^3$ , определим общий расход газа за теплый период года:

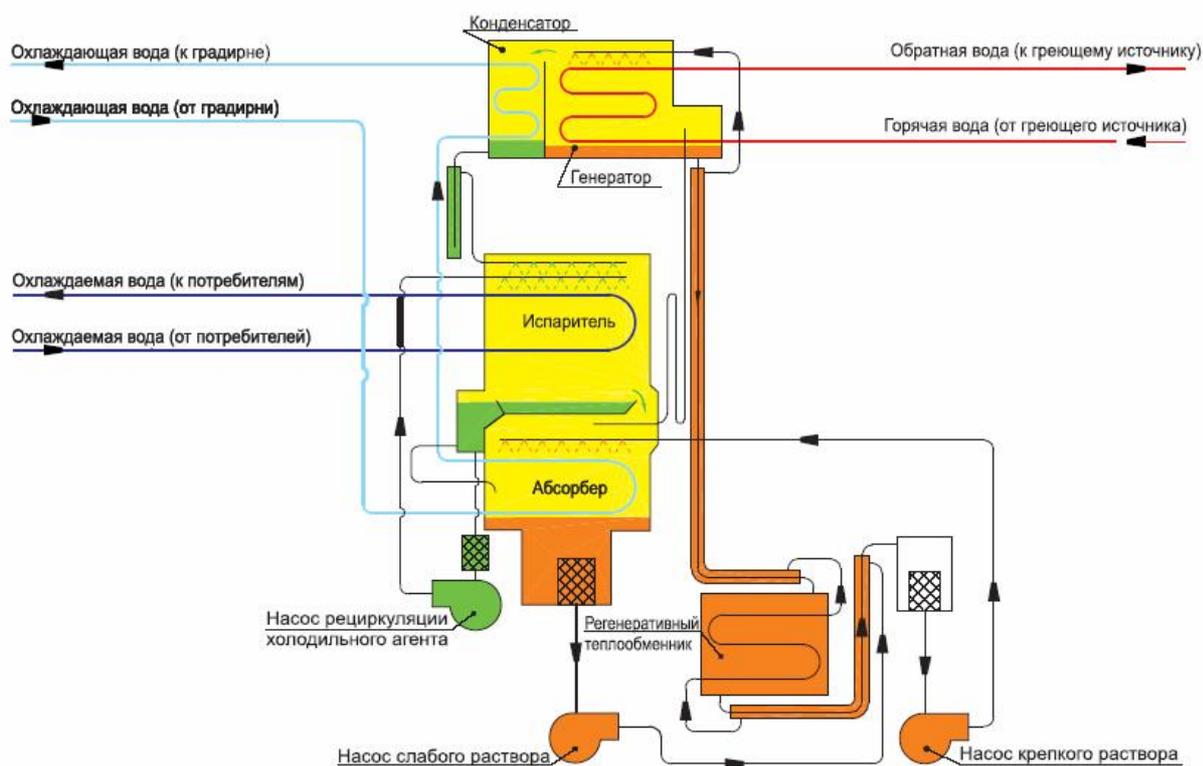


Рис. 1 Одноступенчатая АБХМ, работающая на горячей воде от автономной котельной.

$V = 1330 \cdot 120 \cdot 0,5 \cdot 3600/35000 = 197\ 000\ \text{м}^3$ , т.е. практически расход природного газа за весь теплый период года составляет  $200\ 000\ \text{м}^3$ . При цене газа 1,85 руб за  $\text{м}^3$  его стоимость составит 370 000 руб.

В обоих вариантах потребление электроэнергии насосами и вентиляторами (они должны быть примерно равны) мы не учитываем.

Соотнеся оценки эксплуатационных затрат на выработку холода аналогично инвестиционным затратам для обеих машин, получим:  $0,69/0,37 = 1,86$ .

Из соотношения эксплуатационных затрат следует второй важный вывод: эксплуатация абсорбционных машин обходится почти в два раза дешевле, чем эксплуатация парокомпрессионных машин. Важность этого вывода станет более понятна, если иметь в виду, что по регламенту до капитального ремонта АБХМ проработают 20 лет.

Выше отмечалось, что АБХМ работает на горячей воде, подаваемой от автономной котельной, которая обычно в теплый период времени года бывает отключена. Работа абсорбционной холодильной установки повышает коэффициент загрузки котельной, снижая таким образом срок ее окупаемости, что в свою очередь повышает эффективность вложенных инвестиций.

Еще одним важным преимуществом абсорбционных машин является низкий уровень шума при их работе. Уровень собственных шумов абсорбционных установок при  $Q_0 \geq 1500\ \text{кВт}$  не превышает 65 дБа.

Кроме того, они отвечают требованиям протоколов Монреаля и Киото, т.е. не способствуют разрушению озонового слоя и глобальному потеплению т.к. в абсорбционных машинах не используются хладоны, утечка которых и является причиной разрушению озонового слоя.

Если вместо горячей воды в АБХМ в качестве греющей среды используются продукты сгорания газа после котельной, газовой турбины, газотурбинной или газопоршневой когенерационной установки, то ее работа будет осуществляться по двухступенчатой схеме (рис. 2) и ее тепловой коэффициент  $\zeta = Q_0 / Q_T$  будет равен 1,35.

Тогда для нашего примера при  $Q_0 = 1000$  кВт потребуется объем газа не 200 000 м<sup>3</sup>/сезон, а только 114 000 м<sup>3</sup>.

Из материала статьи у читателя может сложиться мнение о наличии некоей панацеи в области холодильной техники: дешево, просто, экологически чисто и почти бесшумно. Все это действительно так. Однако есть некоторые «но».

Абсорбционные холодильные установки имеет большую чем парокompрессионные массу, и эту массу при размещении на кровле здания необходимо распределить. В контуре АБХМ предусмотрена градирня, имеющая значительные размеры и массу, работа которой сопровождается шумом, тогда в условиях жилой застройки могут быть необходимы глушители и акустические экраны. В некоторых случаях вместо градирни устраивают функционально-декоративные фонтаны. Однако стоимость фонтана превышает стоимость градирни. Для работы градирни или фонтана необходима подпиточная вода. Для нашего примера максимальный расход подпиточной воды составляет до 3,4 м<sup>3</sup>/ч. Ее тоже нужно получить и подать.

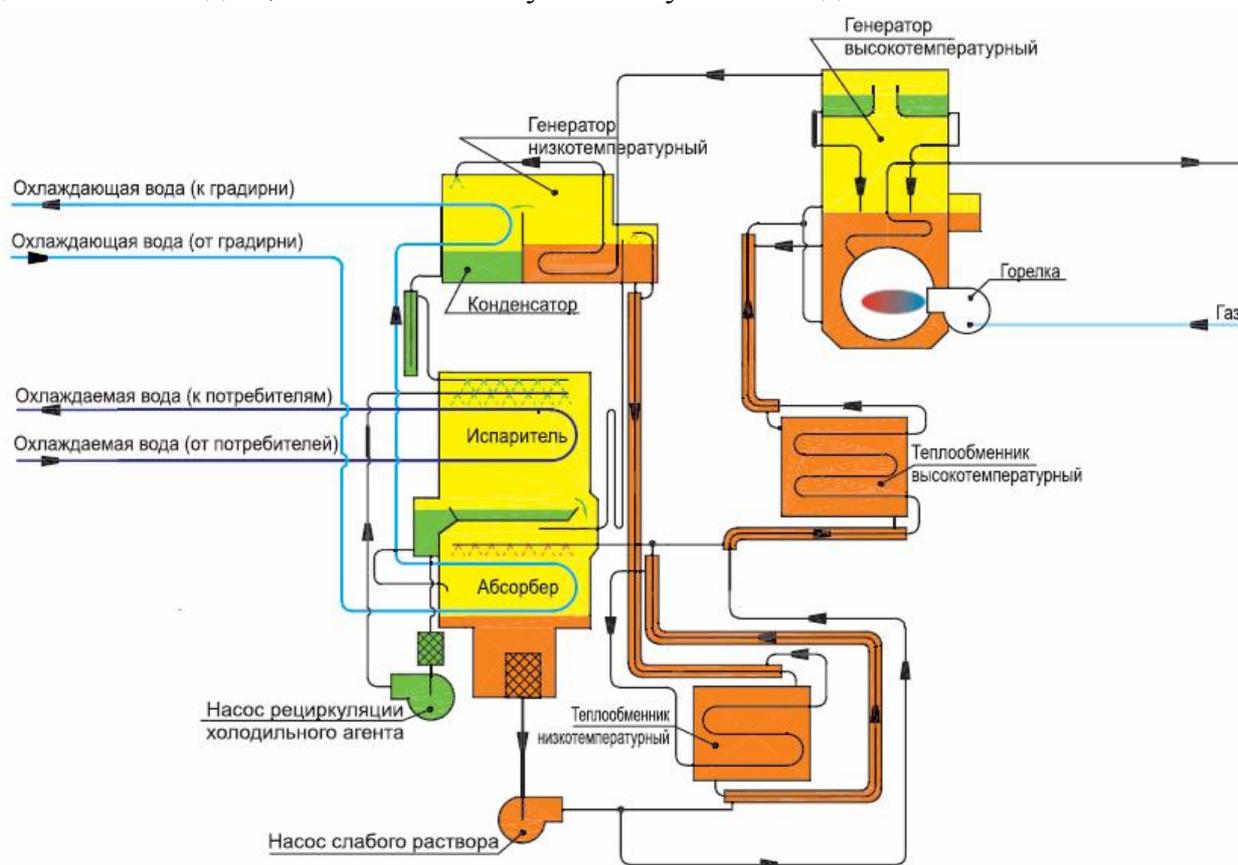


Рис. 2 Двухступенчатая АБХМ с прямым газовым подогревом.

Таким образом становится очевидно, что снижение инвестиционных затрат почти в три раза, а эксплуатационных – приблизительно в два раза, дается не так легко, как может показаться на первый взгляд. Однако существует несколько интересных инженерных решений по преодолению некоторых противоречий при рассмотрении всего комплекса инженерных систем здания, а не изолированной системы холодо-снабжения.

Несколько слов о применяемом оборудовании. Практикующий инженер должен следить за информационным полем, находить эффективные схемные решения и оборудование для реализуемых проектов. Так, в настоящее время заводы Китая по отдельным направлениям предлагают продукты высокого качества по умеренным ценам.

В число «ТОР – 20» лучших заводов Китая входит компания «BROAD». Заводу чуть больше лет и его единственный продукт – абсорбционные машины. Будучи по оснащенности и технологичности заводом мирового класса и специализируясь только на абсорбционной технике, «BROAD» не имеет на мировом рынке конкурентов по номенклатуре производимых машин, их техническим характеристикам, качеству и уровню цен.

И последнее. В абсорбционной технике, действительно привлекательной для инвесторов, присутствует и некоторый социальный компонент. Снижение инвестиций и сокращение сроков окупаемости проекта невольно содействует снижению цен на потребительском рынке, на котором инженер-разработчик уже сам выступает в ипостаси покупателя товаров и услуг.

## **Кондиционирование воздуха на юге Европы**

### **Газовые кондиционеры – перспективы развития**

*Renato M. Lazzarin*

Простейшим решением проблемы роста нагрузки на электрическую сеть, обусловленной работой холодильного оборудования, становится применение аппаратуры, работающей на газе. Причем это никак не сказывается на нагрузке газовых распределительных сетей. Напротив, такое решение даже благотворно для сбалансированности потребления газа. Более того, с учетом уровня надежности, обеспечиваемого сейчас данным оборудованием, приходится только удивляться, почему оно не получило широкого распространения в Европе (в отличие от США и Японии), где проблема перегрузки электросетей в летний период стоит уже весьма остро.

Не следует также забывать, что газовая аппаратура имеет целый ряд других преимуществ. Если говорить об абсорбционных холодильных агрегатах: в них не применяются синтетические хладагенты, этот факт позволяет спокойно относиться к проблеме CFC и их заменителей. Эти машины известны своей надежностью, бесшумностью, отсутствием вибраций. В некоторых случаях они могут использовать рекуперированное тепло двигателей внутреннего сгорания, сжигающих установок и горячих промышленных выбросов.

#### **Газовые двигатели**

Основная технология, которой можно воспользоваться для производства холода с помощью газа, – это технология производства механико-электрической энергии для приведения в действие традиционных компрессионных машин. В этих целях используется возвратно-поступательный двигатель внутреннего сгорания (он имеет самое широкое распространение). Среди систем внутреннего сгорания упоминаются газотурбинные турбины. Их мощность исчисляется многими сотнями кВт, что существенно превышает масштаб оборудования, которому посвящен данный обзор. Правда, в последнее время появились прототипы более скромных турбин, мощностью в десятки кВт, называемых микротурбинами. И вот они-то и могли бы составить определенную альтернативу возвратно-поступательным двигателям.

Как бы там ни было (будь то возвратно-поступательный двигатель или микротурбина), зачастую определяющим фактором в решении вопроса, какой системе отдать предпочтение, является возможность использования рекуперированной тепловой энергии, объемы которой могут вдвое превышать объемы производимой механической энергии. В летнем режиме ее можно использовать, скажем, для производства холода с использованием теплоты. Правда, это потребует применения абсорбционных машин либо иного оборудования, зачастую достаточно «проблемного» как с технической точки зрения, так и в плане расходов на обслуживание.

При использовании технологий, в которых для приготовления холода используется традиционное оборудование, возникают проблемы, связанные с заменой составов CFC на новые синтетические хладагенты.

#### **Двигатели, альтернативные двигателям внутреннего сгорания**

Особого интереса заслуживают двигатели, в которых охлаждающая вода имеет температуру, значительно более высокую, чем традиционные 80–90°C. К примеру, двигатель Перкинса, у которого охлаждающая вода нагревается до 140°C. В целом такой двигатель дает механическую производительность 35%, регенерированная тепловая энергия отработанных газов – те же 35%, энергия охлаждающей воды дает 19%, и оставшиеся 11% – чистые потери.

## **Абсорбция**

Абсорбционные машины, с одной стороны, используют тепловую энергию горения либо регенерации при минимальной потребности в электроэнергии, с другой, не применяют синтетические хладагенты, что освобождает пользователя от целого ряда проблем, связанных с заменой CFC.

До сих пор ни одна смесь не может конкурировать с двумя классическими смесями: пары вода - бромистый литий и аммиак - вода. Наиболее значительные изменения вносились только на уровне добавок к смесям, направленных на предотвращение коррозии, либо на улучшение теплообмена, либо на корректировку поведения смеси.

А вот в конструкцию машины вносились самые разные изменения и совершенствования, поскольку характеристики первоначальных моделей были, прямо скажем, весьма посредственными. Значения холодильного коэффициента COP чаще всего не выходили за рамки 0,5–0,6. По первичной энергии результат едва дотягивал до половины производительности какой-нибудь хорошей электрической компрессионной машины. На самом деле агрегат одноступенчатого нагрева весьма посредственно использует температуры, достижимые при горении, и, напротив, подходит для работы на пониженных температурах (включая режимы порядка 80–90°C), то есть хорошо подходит для использования регенерированного тепла (в том числе от охлаждения воды двигателей внутреннего сгорания). Вдобавок абсорбционная машина при непрерывном теплообмене раствора от «теплой» зоны (абсорбер) к «горячей» (регенератор) и обратно представляет собой постоянный источник снижения эффективности, который теплообменник, обычно устанавливаемый между ними, может до известной степени нейтрализовать и уменьшить, но никак не устранить. Интересные результаты на уровне как рабочих характеристик, так и габаритов машины могут быть получены с использованием технологий интенсификации теплообмена.

С точки зрения продаж абсорбционные машины занимают на рынке значительную часть. Сегодня ежегодно производится около 10 000 единиц на бромистом литии (из них 5 000 в Японии и 3 000 в Китае). В Италии доля рынка, занимаемая абсорбционными машинами, составляет около 10% от общего объема продаж холодильных агрегатов в стране.

### **Вода - бромистый литий**

Описание абсорбционного цикла с одноступенчатым нагревом найти нетрудно (так же, как и цикла с двухступенчатым нагревом). В последнем конденсация пара, производимого при более высокой температуре и давлении, в генераторе, приводимом в действие процессом горения, позволяет получать пар и на втором генераторе (дальнейшее испарение раствора). Весь полученный пар, а затем конденсат обеспечивают соответствующий холодильный эффект: здесь пар, полученный от регенерации внутри цикла, дает улучшение рабочих характеристик машины. Недостатки, присущие данной конструкции, не позволяют получить коэффициент мощности COP выше 0,7 на машинах одноступенчатого нагрева (вместо теоретически возможной единицы) и выше 1,2 на машинах двухступенчатого нагрева (вместо теоретического 2). Очевидно, при двухступенчатом нагреве некоторые конструктивные недостатки одних процессов дают, так сказать, более выраженный (чем у машины с одноступенчатым нагревом) побочный эффект на другие процессы, что в совокупности снижает фактическую производительность по сравнению с теоретическим расчетом. Достаточно будет сказать, что провалы генератора высокого давления не заканчиваются на нем самом и весьма негативно отражаются на последующем генераторе низкого давления: на вы-

ходе мы имеем меньше пара, конденсирующегося в отопительном змеевике генератора, и, следовательно, меньше пара вообще.

Холодильный коэффициент COP на уровне 1,2 ставит машину в ряд механизмов, сравнимых по коэффициенту первичной энергии с электрическими компрессорами. В целях дальнейшего улучшения рабочих характеристик уже разработаны первые прототипы, работающие по принципу трехступенчатого нагрева. Такие агрегаты могут дать вполне устойчивый реальный холодильный коэффициент COP порядка 1,4–1,6 (при максимально возможном теоретическом 3).

Мы не будем приводить описания схемы прототипа, который строит один из американских гигантов индустрии. А вот проанализировать схему, предложенную недавно китайскими исследователями и специалистами, пожалуй, стоит (в Китае большое внимание уделяется производству абсорбционных механизмов). Прототип машины разрабатывается компанией Zhejiang Lian Feng Co. Его схема приведена на рис. 8. Начнем с генератора высокого давления, расположенного с правой стороны, находящегося под действием открытого пламени. Образующийся пар направляется в трубопровод, ведущий во второй генератор, где происходит дальнейшее испарение за счет тепла конденсации пара, идущего из первого генератора. Этот пар собирается из трубопровода, размещающегося над генератором, и отводится на конденсацию в третий генератор (левее), где осуществляется третье заключительное действие парообразования. Полученная таким образом вода собирается в конденсаторе, испытывающем воздействие главным образом третьего генератора. Конденсатор охлаждается должным образом водой от градирни. Оставшаяся часть цикла вполне прозаична в том смысле, что пар абсорбируется раствором в абсорбере. Разбавленный раствор распределяется по всем трем генераторам посредством трех теплообменов с концентрированным раствором, поступающим из трех генераторов. В дальнейшем теплообмене задействованы раствор и отработанные газы справа сверху на рисунке. Каковы же проблемы, возникшие в ходе реализации прототипов? В общем, решать пришлось два главных вопроса: во-первых, высокая рабочая температура генератора, усиливающая коррозию из-за усиления агрессивности раствора, и, во-вторых, сложности с внутренней устойчивостью раствора во всех трех генераторах. Последняя проблема решается при помощи соответствующих датчиков уровня и микропроцессоров, управляющих насосами. Получаемый в результате высокий холодильный коэффициент COP вполне оправдывает усилия, приложенные для реализации прототипа машины трехступенчатого подогрева. А на теоретическом уровне сейчас активно прорабатывается вопрос о возможности появления агрегата quadro-действия (с четырьмя генераторами).

Технологическое развитие получают не только рабочие, но и многие другие характеристики машин. Это, в первую очередь, широкое применение электроники как в плане защиты от кристаллизации, так и в плане контроля мощности механизма. Также не следует забывать, что улучшенные характеристики эти машины дают и на пониженной нагрузке, на которую компрессионные системы, как правило, реагируют достаточно остро. Среди вопросов, ожидающих своего решения, назовем габариты механизмов (вес и объем), а также возможность воздушного охлаждения (до сих пор для пары вода - бромистый литий требуется вода от градирни).

### **Возможности дальнейшего развития**

Процесс влагоудаления, почти всегда обязательный в летнем кондиционировании воздуха, может быть организован либо через охлаждение воздуха до температуры ниже точки росы, либо химическим путем. Последний метод до сих пор широко использовался (главным образом в промышленности): воздух пропускается через влаго-

поглощающие вещества. Эти вещества могут быть твердые, и тогда процесс проходит по типу адсорбции: в этом случае водяной пар удерживается и конденсируется на поверхности либо на пористых капиллярных стенках вещества.

Влагопоглощение можно осуществить также с помощью жидкости, и здесь процесс проходит по типу абсорбции: вода в растворе с такой жидкостью имеет парциальное давление ниже, чем чистый водяной пар при той же температуре, и даже при более высокой температуре, таким образом происходит переход части водяного пара, содержащегося в воздухе, в абсорбирующий раствор. И в том, и в другом случае пар конденсируется, отдавая влагопоглощающему веществу тепло конденсации, к которому добавляется и малая часть, обусловленная адсорбционной смачиваемостью поверхности и абсорбционным переходом в раствор (тепло раствора). В обоих случаях, таким образом, мы имеем изотермическую реакцию. Произведенное тепло нагревает воздух. В условиях отсутствия наружного теплообмена в процессе данное тепло полностью берется за счет снижения энтальпии воздуха: иными словами, мы имеем сокращение скрытого тепла и рост явного. На выходе из влагопоглотителя воздух выходит, имея более низкую удельную влажность, более высокую температуру с практически неизменной энтальпией (если только влагопоглощающее устройство не предусматривает одновременного охлаждения). Зачастую воздух поступает при температуре выше температуры наружного воздуха, поэтому его можно охладить безо всяких затруднений и, осушив указанным образом, направить в кондиционируемые помещения. В режиме более интенсивного влагопоглощения можно также осуществлять охлаждение воздуха по испарительному принципу со вполне удовлетворительным результатом, в том числе по физической нагрузке.

Требуется осуществить регенерацию влагопоглощающих веществ, способность которых задерживать воду постепенно теряется по мере роста объема поглощенной влаги. Для регенерации требуется нагрев, получаемый либо в процессе горения, либо в рамках соответствующей тепловой регенерации, которая в определенных условиях может происходить при довольно умеренной температуре, допустимой как для регенерации по воде охлаждения двигателей внутреннего сгорания, так и в конденсаторах холодильных агрегатов. Речь, таким образом, идет о процессе, весьма перспективном в плане использования тепла регенерации в летний период.

Особый интерес к подобным системам проявляется, в частности, в США, где влагопоглощение имеет довольно скромный рынок с годовым оборотом 90 миллионов долларов (около 1% рынка холодильных агрегатов), причем в ближайшие годы предполагается его трехкратное увеличение. В настоящее время в мире насчитывается 13 производителей рабочих систем, как абсорбционных, так и жидкостных. Этот рынок ежегодно растет в среднем на 15%, хотя основными потребителями изделий выступают в основном промышленные предприятия. Весьма многообещающими представляются возможности использования таких систем в секторе супермаркетов, где существенное снижение влажности внутреннего воздуха может дать чрезвычайно важные преимущества, особенно с учетом вступивших в силу новых нормативов, касающихся воздухообменов помещений. Исследовательский институт Gas Research Institute (GRI) методично пропагандирует эти системы буквально на всех уровнях. В 2001 году было установлено около 12 800 систем химического влагопоглощения, из них свыше половины для осушения воздуха (оставшаяся часть предназначена в основном для холодильного сектора).

*Перепечатано с сокращениями из журнала CDA.  
Перевод с итальянского С. Н. Булекова.*

## Технико-экономический сопоставительный анализ вариантов хладоснабжения

Сопоставительный анализ вариантов хладоснабжения объекта “А” в Москве на общую холодопроизводительность  $Q_0^{\Sigma} = 6000$  кВт и теплопроизводительность для нужд ГВС  $Q_{ГВС}^{\Sigma} = 2700$  кВт. В анализе – парокompрессионные холодильные машины с винтовыми компрессорами, кожухотрубными конденсаторами и сухими охладителями. Абсорбционные машины с прямым газовым нагревом типа BZ BROAD.

№	Показатель		ПКХМ	АБХМ	Примечание
1	Холодопроизводительность	кВт	6 000	6 000	
2	Теплопроизводительность	кВт	автономные газовые котельные, 2 700	до 4 500	
3	Удельная стоимость машин (оценка)	\$/кВт т	ПКХМ, 185 АГК, 145	АБХМ, 260 Градирня, 10	АГК – автономная газовая котельная
4	Капитальные затраты на машины, К	тыс. \$	1 100+392=1 492	1 642	Стоимость подключения ПКХМ к электросетям условно равна 0, а не 1000\$/кВт
5	Эксплуатационные затраты на выработку холода за теплый период года *, Э	\$	87 300	25 650	
6	Приведенные затраты $\bar{\Pi} = E \cdot K + \bar{\Pi}$ , где $E = 0.12$ - нормативный коэффициент	\$	266 340	222 690	$\bar{\Pi} = \frac{\Pi_{ПКХМ}}{\Pi_{АБХМ}} = 1,2$
7	<p>Вывод по экономическому аспекту: абсорбционные машины заметно лучше, чем парокompрессионные, так как приведенные затраты на них на 20% меньше. Если включить в рассмотрение платежи в структуры РАО “ЕЭС России” за подключение к электросетям, то</p> $K'_{ПКХМ} = 1492000 + \frac{6000}{3,0} \cdot 1000 = 3492000$, \quad \Pi'_{ПКХМ} = 506340$$ $\bar{\Pi} = \frac{\Pi'_{ПКХМ}}{\Pi_{ПКХМ}} = \frac{506340}{222690} = 2,27 \quad \text{раза}$				
8	Технические аспекты, не имеющие прямого экономического выражения				
9	Источники структурного шума		Да, так как в машинах преобразуется электрическая энергия в механическую с мощностью 2000 кВт	Нет, так как мощность механизма с электроприводом 6,8 кВт. Шумы процессов фазового перехода и сорбции, десорбции порядка 55 дБА	
10	Источники аэродинамического шума	дБА	Да, так как теплообменники обдуваются осевыми вентиляторами, уровень шу-	Нет, так как воздух в градирни подается радиальными венти-	

			ма в маломощном исполнении не менее 85 дБА	ляторами двухстороннего всасывания, уровень шума менее 65 дБА	
11	Общая масса	т	~95 тонн	~120 тонн	
12	Экологическая безопасность		Проблематична, так как хладагенты разрушают озоновый слой атмосферы и способствуют глобальному потеплению	АБХМ экологически чистый продукт	
13	Техническая безопасность и надежность		Скорее Да, хотя ПКХМ работают под давлением в 10÷12 кг/см <sup>2</sup> , а при потери части хладагента (многокомпонентного) требуют полной перезаправки всей системы. Общий срок службы (потеря перехода трубка-ребро в конденсаторе) не более 15 лет.	Да, так как АБХМ работает под вакуумом. Потеря вакуума к разрушениям не ведет. Разлив соли бромистого лития смывается водой. Общий срок службы (коррозия теплообменных труб с их заменой) не менее 20 лет.	
14	Мониторинг состояния машин и их компонентов		В базе нет	В базовом решении мониторинг во всемирной сети BROAD (у производителя)	

\* Эксплуатационные затраты

Полагаем, что потребность в холоде существует с начала мая по середину сентября – 120 суток. Время работы холодильных машин 16 часов в сутки. Коэффициент загрузки – 0,45.

Количество выработанного холода составит:

$$Q^* = Q_0 \cdot 120 \cdot 24 \cdot \frac{16}{24} \cdot 0,45 = 5184000 \text{ кВт} \cdot \text{час} = 1,866 \cdot 10^{10} \text{ кДж}$$

Для выработки такого количества холода во всех АБХМ нужно сжечь природный газ в количестве:

$$V = \frac{Q^*}{q \cdot \xi} = \frac{1,866 \cdot 10^{10}}{35000 \cdot 1,34} = 397920 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \text{ где}$$

$q=35000 \text{ кДж/м}^3$  – нижняя теплотворная способность 1м<sup>3</sup> природного газа;

$$\xi = 1,34 \text{ – тепловой коэффициент АБХМ, } \xi = \frac{Q_0}{Q_{гр}};$$

При цене на газ – 1,85 руб./ м<sup>3</sup> годовые затраты на работу всей холодильной установки составят :  $\mathcal{E}_3 = 397\,920 \cdot 1,85 = 736\,150 \text{ руб.} \approx 25\,650 \text{ \$/год.}$

Эксплуатационные затраты за тот же период работы парокompрессионных холодильных установок при стоимости электроэнергии 1,45 руб./кВт·час составят:

$$\mathcal{E}_Г = \frac{Q^* \cdot c_T}{\varepsilon} = \frac{5184000 \cdot 1,45}{3} = 2505600 \frac{\text{руб.}}{\text{год}} \approx 87300 \frac{\text{\$}}{\text{год}}$$

## Развитие автономных газовых котельных до автономных источников тепло- и хладоснабжения

Современные здания самого разного назначения – бизнес-центры, торгово-развлекательные комплексы, спортивно-оздоровительные центры, гипермаркеты, гостиницы и другие, для своего эффективного функционирования потребляют три вида энергетических ресурсов: электричество, тепло и холод.

В настоящем материале обсуждается возможность производства холода в пределах энергетического центра на основе модернизированной автономной газовой котельной.

Если вопрос обеспечения электроэнергией решается практически однозначно – от структур ОАО РАО «ЕЭС России», то децентрализованное обеспечение теплом (от автономных котельных) получило достаточно широкое распространение.

Каковы причины устойчивого интереса инвесторов к реализации системы хладоснабжения?

В обществе сформировалось понимание того, что системы кондиционирования воздуха из разряда комфортных переходят в разряд технологических. Они работают на бизнес и влияют на его прибыльность. Например, эффективно работающая система кондиционирования воздуха позволяет человеку задержаться в торговом центре и спокойно совершать покупки, или, для гостиницы, увеличивает ее «звездность», повышая тем самым стоимость номеров и т.д.

Обществу известно, что системы кондиционирования воздуха (СКВ) не являются дешёвыми, более того известно, что они относятся к системам достаточно дорогим. Именно это обстоятельство зачастую и заставляет инвестора экономить на комфорте. Одним из дорогостоящих компонентов СКВ является холодильная машина. Стоимость парокомпрессионной машины, независимо от типа компрессоров (поршневые, спиральные, винтовые, турбокомпрессоры) не может быть низкой, поскольку она является продуктом точного машиностроения со сроком службы более 15 лет. Однако кроме собственно стоимости машины, необходимо учитывать платёж за её присоединение к электросетям, который для Санкт-Петербурга и Москвы соизмерим со стоимостью самой машины, а зачастую и больше ее.

Известен механизм существенного снижения затрат на создание центральных СКВ. Его реализация - продукт совместных усилий специалистов по теплоснабжению и по хладоснабжению. Суть решения сводится к использованию тепловых абсорбционных холодильных машин (АБХМ) взамен электропотребляющих парокомпрессионных холодильных машин (ПКХМ).

Это решение эффективно именно в случае применения автономного теплоснабжения и позволяет инвестору минимизировать инвестиционные и эксплуатационные затраты. Предлагаемый вариант является единственно возможным в тех случаях, когда получение дополнительных электрических мощностей исключено.

Поясним на примере суть этого подхода.

Мировой производитель абсорбционной техники – BROAD выпускает специальный ряд АБХМ, которые позволяют вырабатывать тепло и холод при сжигании в машине природного газа с эффективностью  $\eta = 0,925$  и  $\zeta = 1,35$ , соответственно. Типоразмерный ряд таких машин лежит в диапазоне по холоду от 150 кВт до 24'000 кВт, все подробности на сайте [www.broad-russia.com](http://www.broad-russia.com)

Для примера рассмотрим бизнес центр с общей площадью  $F = 27000 \text{ м}^2$ , теплоснабжение которого осуществляется от автономной газовой котельной.

Потребность такого центра в теплоте для нужд систем отопления, теплоснабжения систем вентиляции и горячего водоснабжения составляет:

$$Q \approx 3\ 000 \text{ кВт.}$$

Потребность такого центра в холодоснабжении составляет:

$$Q_0 = 1800 \text{ кВт.}$$

Исходя из  $Q = 1800 \text{ кВт}$  подберем (см.сайт) две машины BZ 75 с  $Q_{0i} = 872 \text{ кВт}$  на общую номинальную производительность  $Q_0 = 1744 \text{ кВт}$ . Отметим, что диапазон регулирования АБХМ BROAD составляет  $5 \div 115\%$ . Это позволяет извлечь из машин при наличии нагрузки в  $115\%$  максимальную холодопроизводительность в  $Q_0^{\max} = 1744 \cdot 1,15 = 2005 \text{ кВт}$ .

В холодный период года АБХМ эксплуатируется в режиме автономного газового котла, при этом машина BZ 75 вырабатывает горячую воду с производительностью  $Q_i = 672 \text{ кВт}$ , а две машины, соответственно,

$$Q = 1344 \text{ кВт.}$$

Остальную потребность в теплоте  $\Delta Q = 3\ 000 - 1\ 344 = 1\ 656 \text{ кВт}$  можно удовлетворить одним либо двумя стандартными котлами (первый вариант предпочтительнее).

Следует отметить, что при таком подходе возможно использование сетевых насосов системы отопления для транспорта холодной воды по системе кондиционирования.

Сделаем некоторые экономические оценки предлагаемого решения и сравним их с оценками раздельного получения холода с применением парокомпрессионных машин.

1. Строительная стоимость современной автономной газовой котельной на мощность  $1500 - 3000 \text{ кВт}$  может быть оценена через удельный показатель  $\sim 100 \text{ Евро/кВт}$ .
2. Отсюда строительная стоимость котельной на  $Q = 3,0 \text{ МВт}$  будет равна  $\sim 300\ 000 \text{ Евро}$ .
3. Строительную стоимость автономной газовой котельной, состоящей из двух котлов суммарной производительностью  $1\ 656 \text{ кВт}$  примем  $170\ 000 \text{ Евро}$ .
4. Стоимость двух АБХМ BZ 75 с градирней составит,  $\sim 518\ 000 \text{ Евро}$ .
5. В том случае, если заказчик будет приобретать систему холодоснабжения с парокомпрессионной холодильной машиной, то для выработки  $Q_0 = 1800 \text{ кВт}$  при холодильном коэффициенте  $\varepsilon = 3$  ему будет необходимо заплатить за присоединение к сетям подразделений ОАО РАО «ЕЭС России» за  $N_e = 600 \text{ кВт}$ . Основываясь на постановлении РЭК СПб от 28.02.05, стоимость подключения составит в зависимости от зоны  $\sim 625 \text{ Евро/ кВт}$ , а общая сумма платежа  $600 \cdot 625 = 375\ 000 \text{ Евро}$ .
6. Холодильных машин (ПКХМ), вероятно, будет две и оценка их стоимости  $288\ 000 \text{ Евро}$ .

### **Выводы**

Общие затраты на реализацию традиционного варианта с ПКХМ составляют  $375000 + 288000 + 300\ 000 = 963\ 000$ , Евро.

Общие затраты на реализацию предлагаемого варианта с АБХМ составляют  $170\ 000 + 518\ 000 = 688\ 000$ , Евро.

Монтаж АБХМ может быть проведен без приглашения на субподрядные работы специалистов - холодильщиков.

Экономические оценки инвестиционных затрат рассмотренных вариантов убедительно показывают, что автономные источники тепло- и хладоснабжения имеют очевидные преимущества перед традиционной раздельной выработкой тепла и холода.

Эксплуатационные затраты на выработку холода в АБХМ типа ВZ составляют лишь 30...35% от соответствующих затрат на работу парокомпрессионных машин. Покажем это.

Полагаем, что потребность в холоде существует с начала мая по середину сентября – 120 суток. Время работы холодильных машин 16 часов в сутки. Коэффициент загрузки – 0,45.

Количество выработанного холода составит:

$$Q_0^* = Q_0 \cdot 120 \cdot 24 \cdot \frac{16}{24} \cdot 0,45 = 1506826 \text{ кВт} \cdot \text{час} = 0,542 \cdot 10^{10} \text{ кДж}$$

Для выработки такого количества холода во всех АБХМ нужно сжечь природный газ в количестве:

$$V = \frac{Q_0^*}{q \cdot \xi} = \frac{0,542 \cdot 10^{10}}{35000 \cdot 1,34} = 115565 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \text{ где}$$

$q=35000$  кДж/м<sup>3</sup> – нижняя теплотворная способность 1м<sup>3</sup> природного газа;

$\xi = 1,34$  – тепловой коэффициент АБХМ,  $\xi = \frac{Q_0}{Q}$ ;

При цене на газ – 1,85 руб./ м<sup>3</sup> годовые затраты на работу всей холодильной установки составят:

$$\mathcal{E}_3 = 115\,565 \cdot 1,85 = 213\,795 \text{ руб.} \approx 7\,636 \text{ \$/год.}$$

Эксплуатационные затраты за тот же период работы ПКХМ при стоимости электроэнергии 1,45 руб./кВт·час составят:

$$\mathcal{E}_r = \frac{Q_0^* \cdot c_T}{\varepsilon} = \frac{1506826 \cdot 1,45}{3} = 728300 \frac{\text{руб.}}{\text{год}} \approx 26011 \frac{\text{\$}}{\text{год}}$$

Сопоставляя цифры 7 600\$ и 26 000\$ видим, что эксплуатационные затраты на выработку холода в АБХМ типа ВZ составляют лишь 29% от соответствующих затрат на работу парокомпрессионных машин.