

УДК 621.565(075)

Занкевич В.А., кандидат физико-математических наук, доцент, Синица С.И.
Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК АВТОРЕФРИЖЕРАТОРОВ

Холодильные технологии являются неотъемлемой частью технологических процессов производства скоропортящихся пищевых продуктов (СПП), их хранения, транспортировки и реализации [1]. На потребительский спрос влияет много факторов, но важнейшими из них являются качество, цена, сроки поставки СПП в торговую сеть, сроки годности, которые должны соответствовать санитарно-гигиеническим нормам страны производителя и потребителя, например, в РБ [2]. Сохранение качества охлажденных и замороженных СПП достигается за счет поддержания технологической температуры во всей непрерывной холодильной цепи от холодильников производителя СПП до холодильников потребителя. Важным звеном в данной холодильной цепи является холодильный транспорт, в том числе авторефрижераторный (АРТ) [1]. В работе затронуты вопросы истории развития, оценки энергоэффективности парокомпрессионных холодильных установок (ПКХУ) авторефрижераторов (АР), предназначенных для охлаждения СПП в изотермических кузовах в теплый период года и нагрева в холодный (ПКХУ работает как тепловой насос). Данный вид АР наиболее распространен, и в основном используется для грузоперевозок средней (до 5 т) и большой грузоподъемности (порядка 20 т).

В настоящее время в системах холодоснабжения во всем мире, в основном, используется парокомпрессионное холодильное оборудование (ПКХО). Анализируя историю развития ПКХО различного назначения следует отметить, что бурное развитие данного оборудования началось после промышленного выпуска в США компанией Дюпон (синтезировали R12 в 1928 г.) в 1932 г. хладагента R12 (дифтордихлорметан CF_2Cl_2). Например, в США в 1940 г. было выпущено порядка 1 млн. штук бытовых холодильников на хладагенте R12. Производителями ПКХУ для АР в США с середины 30-х годов прошлого столетия до настоящего времени являются фирмы «Westinghouse Thermo King» (в настоящее время торговая марка «Thermo King») и «Carrier Transicold» (в настоящее время торговая марка «Carrier»). Данные фирмы разработали значительную линейку моделей ПКХУ различной холодопроизводительности, создали сеть сервисных центров по их обслуживанию не только в США и Канаде, но и во многих странах мира, имеют заводы по производству ПКХУ в ряде стран мира, включая некоторые страны Европы. В 70–90 гг. прошлого столетия в странах с развитым автомобилестроением (Япония, Южная Корея, ФРГ, Италия) появились собственные производители парокомпрессионного холодильного оборудования. Среди них компании «Mitsubishi Heavy Industries (МНИ)» (Япония), «Konvecta» (ФРГ), «Zanotti» (Италия), «HwaSung Thermo» (Южная Корея). Так, компания «HwaSung Thermo» поставляет холодильное оборудование для автомобильных компаний «Hyundai Motors» и «Kia Motors», а также производит ПКХУ различной холодопроизводительности для АР. МНИ производит кондиционеры для автомобилей компании «Mitsubishi Motors», ПКХУ для АР, контейнеров, включая морские, модельный ряд кондиционеров бытовых и офисных, тепловые насосы. Холодильное оборудование всех вышеотмеченных производителей ПКХУ АР сертифицировано знаком CE европейских стандартов и ISO. В СССР производили ПКХУ для АР средней и большой грузоподъемности, например, ПКХУ УФ–2, АР–4, АР–6, ВИС–31 (ЧССР). Следует отметить, что в СССР развитию холодильной техники уделялось большое внимание [3]. После распада СССР в силу многих причин в странах СНГ ПКХУ АР практически не производят и рынки продаж данного холодильного оборудования заполнили вышеотмеченные фирмы. В РБ создана сеть продаж ПКХУ фирм «Thermo King», «Carrier» со станциями сервисного обслуживания и выпускают изотермические кузова на шасси МАЗ с ПКХУ «Carrier» (средней грузоподъемности) и изотермические полуприцепы с ПКХУ «Thermo King». Холодильное оборудование, как правило, комплектуется в виде двух блоков, при этом испаритель (воздухоохладитель) находится внутри изотермического кузова, а остальное оборудование располагают на его передней торцевой части. Изотермические кузова всех классов из пенополистирола или сэндвич панелей из пенополиуретана на автотранспорт любой грузоподъемности изготавливают на ООО «МАЗ-Купава». Качество теплоизоляции проверяется с помощью инфракрасной термографии и выдается гарантийный паспорт. Класс изотермического кузова по международным стандартам АТР определяют при температуре окружающей среды $t_{oc}=+30^\circ\text{C}$ по величине коэффициента теплопередачи [1].

Холодильное оборудование должно удовлетворять международным энергетическим, экологическим, гуманитарным стандартам, например, DIN 31052 в странах ЕС. Важным индикатором экологического стандарта являются показатели ODP (Ozon Depleting Potention) и GWP (Global Warming Potention) хладагента. В настоящее время в транспортных ПКХУ наиболее широко применяются хладагенты R134a ($\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ с ODP = 0, GWP=420) и R404a (неазетропная смесь R125/R143/R134a в соотношении 44/52/4 с ODP=0, GWP=1600).

Энергетическим эксплуатационным параметром реальной парокомпрессионной машины (ПКХМ) является холодильный коэффициент ϵ . За эталон обратного термодинамического цикла взят не обратный цикл Карно, а теоретический парокомпрессионный цикл (ТПКЦ), в котором все процессы обратимы, за исключением

внутренних необратимых потерь при дроссельном расширении в терморегулирующем вентиле (ТРВ) [3]. В ТПКЦ механическая работа компрессора на реализацию цикла минимальная. В реальных циклах ПКХМ необратимые потери наблюдаются во всех процессах цикла. Степень энергоэффективности оценивали по отношению $\psi = \varepsilon/\varepsilon_t$ реального и теоретического циклов с одинаковыми давлениями в испарителе p_o и конденсаторе p_k , т.е. одинаковыми температурами насыщения хладагента t_k и t_u [3]. Для одноступенчатых ПКХМ, работающих на R134a при $t_k = +30$ °С ($p_k = 0,77$ МПа) и $t_u = -15$ °С ($p_u = 0,164$ МПа) без перегрева значение $\psi \approx 0,65$, расход топлива $B=1,53$ В_т и с перегревом $t_{bc} = +5$ °С $\psi \approx 0,72$, расход топлива $B=1,38$ В_т (В, В_т – расход топлива за 1 с данных циклов при одинаковой холодопроизводительности $Q_o=Q_{от}$, вида топлива и равных индикаторных КПД компрессоров $\eta_u=\eta_{um}$, привода $\eta_{np}=\eta_{npm}$). В основу расчетов взята методика [3].

В ПКХУ АР используются одноступенчатые поршневые компрессора, в основном, малой холодопроизводительности $Q_o < 9,3$ кВт. Производители указывают характеристики основных узлов ПКХУ, тип привода, приводят номинальное значение холодопроизводительности для разных классов изотерм по стандарту АТР при $t_{oc} = +30$ °С при дорожных и стояночных режимах работы ПКХУ, мощности двигателя, электродвигателя. Тип привода зависит от холодопроизводительности [1]. В стояночном режиме работы ПКХУ для привода используют резервный электродвигатель переменного тока. Оценочные значения ε при номинальных режимах $\varepsilon = 1,5 \div 2,8$, а расход условного топлива на номинальных режимах работы компрессора при движении АР $B \approx 1,5 \div 1,9$ В_т. На расход условного топлива влияют внешние теплопритоки, например, от открывания дверей изотермического кузова. Перед погрузкой изотермический кузов АР охлаждают до требуемой температуры.

Работа ПКХУ всех производителей автоматизирована. Практически во всех ПКХУ используется гибкая система регулирования холодопроизводительности за счет изменения скорости охлаждения, изменения частоты вращения вала двигателя, отключением определенного числа цилиндров компрессора. Это приводит к экономии топлива, электрической энергии при различных режимах работы ПКХУ. Кабинный контроллер (пульт) находится на рабочем месте водителя, что позволяет водителю постоянно контролировать работу ПКХУ во время движения. Микропроцессор ПКХУ большой и средней грузоподъемности должен содержать канал регистрации и контроля температуры (влажности) внутри изотермы для исключения претензий к грузоперевозчику по качеству продукции. Разморозка воздухоохладителя от инея осуществляется автоматически с помощью горячего газа хладагента кабинным контроллером.

Наряду с энергетическим методом по определению энергоэффективности в технической термодинамике широко используется эксергетический метод. Обобщенным показателем эффективности холодильной установки в данном методе является эксергетический КПД $\eta_e = Q_c/N_c$, где Q_c – эксергетическая холодопроизводительность (кВт), N_c – эффективная мощность компрессора (кВт). По величине η_e судят о степени совершенства холодильной установки и ценности производимого холода. Величина $Q_c = Q_o \tau_c$, где Q_o – холодопроизводительность (кВт), $\tau_c = (T_o - T_{oc})/T_o$ эксергетическая температурная функция (фактор Карно или работоспособность холода); (T_o (К), T_{oc} (К) – температуры испарителя и окружающей среды). Для электрической энергии и механической работы $\tau_c = 1$. Эксергетический метод дополняет энергетический и между основными энергетическими параметрами холодильных машин данных методов существует связь $\eta_e = \varepsilon \tau_c$. Эксергия охлажденного воздуха внутри изотермического кузова определяется по технологическим параметрам: температуре, влагосодержанию, химическому составу воздуха внутри изотермы. Методика расчета η_e на основе баланса эксергий и определения необратимых потерь цикла ПКХУ приведена в [4]. Зависимость $\eta_e = f(\tau_c)$ носит сложный характер и выбирают режим с максимальным η_e , т.е. с максимальным значением ε . Для сравнения значений η_e ПКХУ АР различных производителей холодопроизводительность, тип хладагента, класс изотермического кузова должны быть одинаковы. Значение η_e ПКХУ «HwaSung Thermo» H100 при номинальном режиме компрессора при стандарте АТР с использованием R404a и η_e ПКХУ «Carrier» Supra 444 для класса изотермического кузова А составляют $\eta_e = 0,44$ при дорожном режиме и $\eta_e = 0,55$ при стояночном режимах.

В холодный период T_{oc} (К) < 273 К при грузоперевозках многих охлажденных СПП, фруктов $T_{об} > 273$ К ПКХУ должно работать в режиме нагрева (теплового насоса). Энергоэффективность оценивается по коэффициенту преобразования теплового насоса.

В заключение выражаем благодарность Кабашникову П.В. ЧП «Термо-колд» за предоставленные материалы по холодильному оборудованию для АР фирмы «HwaSung Thermo».

Список использованной литературы

1. Курьлев Е.С., Оносовский В.В., Румянцев Ю.Д. Холодильные установки. – СПб.: Политехника, 2002. – 576 с.
2. Санитарные правила и нормы РБ 2–3.4.15–18.2005 «Государственная санитарно-гигиеническая экспертиза и подтверждение правильности сроков годности (хранения) продовольственного сырья, пищевых продуктов».
3. Быков А.В., Калнинь И.М., Крузе А.С. Холодильные машины и тепловые насосы (Повышение эффективности). – М.: Агропромиздат, 1988. – 287 с.
4. Бродянский В.М., Фратшер В, Михалек К. Эксергетический метод и его приложения. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.