АЙС-СЛАРРИ И ОДНОФАЗНЫЕ ХЛАДОНОСИТЕЛИ

О.Б. ЦВЕТКОВ,
председатель Рабочей группы "Свойства хладагентов и теплоносителей"
Ю.А. ЛАПТЕВ
ученый секретарь Рабочей группы

Уже более 20 лет в начале года Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ) совместно с Рабочей группой "Свойства хладагентов и теплоносителей" Научного совета РАН по комплексной проблеме "Теплофизика и теплоэнергетика", а последние 11 лет совместно и с Международной академией холода (МАХ) проводит ставшие традиционными международные конференции по актуальным проблемам современной теплофизики и холодильной техники. Тематика последней из них, прошедшей в феврале 2004 г., – «Айс-сларри и однофазные хладоносители». Гостями и участниками конференции были: Объединенный институт энергетических и ядерных исследований НАН Беларуси, ОГАХ, ОАО "Могилевхимволокно", МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГУПБ, МГУИЭ, Московский государственный областной университет, ООО "Криогенмаш", Московский завод "Компрессор", ГУ ВНИХИ, ООО "Спектропласт", НПО "Химсинтез", МГАТХТ им. М.В. Ломоносова, ЗАО "ТРАНЗАС – электронные технологии", ГУП ВНИПИ комплексной энергетической технологии, ООО "Эйркул", ЗАО "ОК", СПбГАСУ, ОАО "Холодмаш" (Ярославль), отраслевые журналы, в том числе "Холодильная техника". Открыл конференцию президент МАХ, ректор СПбГУНиПТ, д-р техн. наук, проф. А.В. Бараненко.

Перспективам развития косвенного охлаждения, свойствам хладоносителей и айс-сларри посвятил доклад вице-президент МАХ **О.Б. Цветков.** Косвенные системы успешно используются многие десятилетия. Однако грандами холодильной техники всегда были и, пожалуй, до сих пор остаются системы непосредственного охлаждения. Пока эксперты IPCC подсчитывают радиационные форсинги планеты и составляют очередные кошмарные сценарии глобального потепления, произошло событие во многом примечательное. Апологеты Монреальского и Киотского протоколов и, скажем осторожно, их оппоненты сошлись в одном: и в настоящее время, и в ближайшей перспективе, и тем более для стабильного будущего необходимы холодильные системы, имеющие две актуальные ипостаси – нулевую эмиссию экологически опасных веществ и минимальную заправку хладагентом. Понятно, что именно системы промежуточного охлаждения решают эту двуединую задачу и в этой связи превращаются из неприметного "гадкого утенка" в прекрасного лебедя.

В холодильной технике используют десятки различных однофазных промежуточных хладоносителей как на водной основе, так и синтетических. В последние годы появились двухфазные хладоносители – айс-сларри. При этом, разумеется, не исчезли и проблемы. И дело не только в коррозии, эксплуатационных затратах, стоимости хладоносителей, воздействии их на материалы, пенообразовании и т.д. Дело в том, что резко возросли экологические и токсикологические требования к промежуточным средам. Между тем статистика бесстрастно фиксирует случаи протечек хладоносителей в окружающую среду и, что особенно тревожно, в напитки и пищевые продукты.

Россия – исторически родина "бинарного льда" (айс-сларри): диссертация В.А. Чижикова на эту тему была защищена в Ленинградском технологическом институте холодильной промышленности (ныне СПбГУНиПТ) в 1972 г. Осмысление преимуществ подобной системы охлаждения растянулось на десятилетия. Сегодня ее стали активно применять в Европе, Азии и Америке. В нашей стране развитие подобных технологий, и прежде всего машиностроения, для их реализации только начинается. Докладчик выразил надежду, что участники конференции помогут восполнить пробелы в решении затронутых вопросов.

Проблемам применения однофазных хладоносителей была посвящена значительная часть выступлений на конференции.

Доклад **Е.Т. Петрова, А.А. Круглова** и **В.В. Кириллова** (СПбГУНиПТ) "Повышение эффективности систем холодоснабжения за счет использования модифицированных хладоносителей" посвящен анализу влияния свойств хладоносителей на гидравлические и тепловые характеристики трубопроводов, отдельных видов оборудования и систем холодоснабжения. Показана целесообразность расширения применения модифицированных хладоносителей, среди которых водные растворы природного происхождения ("БишолТ" и др.), а также водные растворы практически нетоксичных и эффективных хладоносителей – пропиленгликоля, хлористого кальция и др. Негативные особенности хладоносителей могут быть устранены благодаря введению незначительного количества добавок и присадок, что повысит эффективность систем. Модификацию необходимо ориентировать на определенные области применения хладоносителей (например, для нефтехимической, пищевой промышленности и специально для систем с непосредственным контактом с пищевыми продуктами).

Интерес собравшихся вызвал доклад **Л.С. Генеля** и **М.Л. Галкина** (ООО "Спектропласт", Москва) "Проблемы токсичности, экологичности, пожароопасности, коррозионной активности промежуточных хладоносителей". Авторы доклада

изложили свое видение проблемы коррозионного воздействия хладоносителей на металлы.

Не выявив в литературе методик исследования коррозионной активности жидких сред при отрицательных температурах, докладчики предложили свои методики проведения коррозионных испытаний. Новые хладоносители, появляющиеся на российском рынке, проходят испытания по этой методике в сопоставимых условиях, что позволяет создать базу данных и сравнивать хладоносители между собой.

Выявлены ингибиторы коррозии и хладоносители, которые приводят к растворению, охрупчиванию и растрескиванию полимерных материалов.

В ООО "Спектропласт" разработаны ингибиторы коррозии и антинакипины для воды (как самого эффективного и дешевого хладоносителя), компоненты которых нетоксичны и экологичны. Ингибиторы пригодны для закрытых, открытых и полупогруженных систем, способны предотвращать коррозию без дополнительной заправки ингибиторами более месяца в открытых системах и более года в закрытых.

Практика показала необходимость предупреждения возможных опасных ситуаций при эксплуатации холодильного оборудования. Применяемый в настоящее время упрощенный подход к оценке эффективности хладоносителей без учета рисков и возможных последствий устранения этих рисков может принести убытки, многократно превосходящие расчетную величину эффективности, учитывающую только прямые затраты.

Целесообразно отразить вопросы безопасности применения промежуточных хладоносителей в разрабатываемых в соответствии с Законом «О техническом регулировании» технических регламентах и стандартах.

Г.А. Белозеров, Н.М. Меднико-ва и **В.П. Панченко** (ВНИХИ) представили "Технико-экономическое сопоставление аммиачных централизованных насосно-циркуляционных систем непосредственного охлаждения и систем с промежуточным хладоносителем, охлаждаемым в современных эффективных чиллерах".

Сопоставление проводилось применительно к камерам хранения, охлаждения и замораживания мяса на комбинатах мощностью 50 т в смену. В качестве критерия сопоставления выбраны удельные затраты на выработку холода, учитывающие годовые капитальные и эксплуатационные расходы.

О типоразмерном ряде холодильных машин с малой заправкой аммиака рассказал **М.А. Сильман** (московский завод "Компрессор"). Аммиакоемкость холодильных систем многократно снижена благодаря локализации рабочего вещества в пределах холодильной машины и использования малоемких пластинчатых испарителей. Холодильные машины предназначены для систем охлаждения хладоносителя в диапазоне – 25...+10 °С. Холодопроизводительность машин "среднетемпературного" исполнения (t_s = = –20 °С) составляет 27...270 кВт, "высокотемпературного" исполнения (t_s = 6 °С) – 80...850 кВт. Завод поставляет холодильные машины в виде моноблоков полной заводской готовности с заправкой аммиаком и холодильным маслом.

Опытный образец представителя ряда – холодильной машины 50 МКТ 130-7-3 – принят приемочной комиссией. Намечено проведение испытаний холодильной машины 50 МКТ 130-7-3 на промежуточном хладоносителе "Нордвэй-ХН", выпускаемом Рошальским химическим заводом "Нордикс". Хладоноситель представляет собой водный раствор ацетата калия и обладает рядом эксплуатационных, энергетических и экологических преимуществ, пожаробезопасен, имеет разрешение к применению в пищевой промышленности.

Совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана завод проведет испытания холодильной машины, используя в качестве хладагента бинарную смесь (60 % аммиака и 40 % диметилового эфира), что позволит добиться дальнейшего снижения аммиакоемкости холодильной машины.

Более подробно об этом хладагенте участники конференции узнали из доклада "Испытания смеси диметиловый эфир–аммиак (R723) в качестве хладагента" **С.Д. Глухова, А.А. Жердева, О.А. Муравьева** и **С.В. Поликарпова** (МГТУ им. Н.Э. Баумана). Было проведено сопоставление циклов холодильной установки на хладагенте R723 и чистом аммиаке. Выявлено, что при использовании смеси холодопроизводительность установки не ухудшается.

В отличие от чистого аммиака смесь ограниченно растворяет минеральное масло, а добавление диметилового эфира приводит к существенному снижению коррозии меди, обычно вызываемой аммиаком в присутствии воды. Эти качества смеси, а также ее более эффективные термодинамические свойства позволяют создать установку небольшой холодопроизводительности, работающую более эффективно, чем на существующих хладагентах.

При замене 40 % аммиака на ДМЭ в существующих холодильных установках можно добиться, по мнению авторов, также снижения аммиакоемкости установки без потери эффективности.

Тема ДМЭ продолжена в докладе **С. Д. Глухова, А.А. Жердева, Н.А. Соловова, А.В. Шарабурина, А.А. Лелюха** и **А.Н. Левко** "Испытания диметилового эфира (ДМЭ) в качестве хладагента холодильной установки авторефрижератора". Проведено сопоставление холодопроизводительности компрессора при работе на ДМЭ и R12 в диапазоне температур от – 20 до – 5 °С. Показана возможность использования ДМЭ в качестве хладагента после небольшой доработки холодильной машины.

В докладе **В.В. Оносовского, Е.А. Ротгольца, И.К. Акчурина** (ЗАО "ОК", Санкт-Петербург) "Достоинства и недостатки каскадных холодильных установок, использующих в качестве хладагента аммиак и углекислый газ" обсуждается возможность применения каскадной установки, использующей аммиак в верхней и диоксид углерода в нижней ветви каскада, что приводит к существенному снижению аммиакоемкости системы. Проведено сопоставление действительных холодильных коэффициентов для аммиачной двухступенчатой холодильной установки и каскадной холодильной установки, показавшее близость значений энергетической эффективности сравниваемых систем. При температурах кипения выше –40 °С некоторые энергетические преимущества имеет двух-

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА

ступенчатая аммиачная холодильная установка, при –50 °С – каскадная. Интересно применение диоксида углерода в качестве промежуточного хладоносителя в аммиачной холодильной установке. В отличие от схем, использующих обычный жидкий хладоноситель, в этой системе отвод теплоты осуществляется при кипении жидкого CO_2. Это интенсифицирует теплообмен и снижает массу циркулирующего в системе хладоносителя. Использование CO_2 в качестве хладоносителя также позволяет снизить аммиакоемкость системы.

Возможностям смесевого хладагента R142b/RC318 (42 % R142b по массе) был посвящен доклад **О.В. Беляевой, А.Ж. Гребенькова, Б. Д. Тимофеева** (ОИЭЯИ НАН Беларуси), ***А.С. Критинина, В.Ф. Окружнова*** (ОАО "Могилевхимволокно") "Результаты натурных испытаний турбокомпрессорной холодильной машины 10ТХМВ-4000-2 на смесевом хладагенте "Экохол-2" на заводе полиэфирных нитей ОАО "Могилевхимволокно". Испытания проводились без замены минерального масла при температуре кипения +7 °С, давлении на входе в компрессор около 0,14 МПа. На смесевом хладагенте "Экохол-2" получена та же холодопроизводительность, что и на R12. Учитывая положительные результаты первых натурных испытаний, планируется перевод других турбокомпрессорных холодильных машин с повышенной частотой вращения ротора на эту же бинарную смесь R142b/RC318 с оптимальным соотношением компонентов.

В ряде докладов рассматривались свойства и применение двухфазных промежуточных хладоносителей – айс-сларри.

Так, в докладе **И.С. Татариновой** (МГУТиУ), **В.В. Ананьева** (ГНУ НИИ ЭМ МГТУ им. Баумана), **Т.С. Белопотаповой** и **Т.В. Борисовой** (ФГУДП НИЦ РФ ЦИАМ) "Испытания коррозионной активности традиционных хладоносителей для холодильных установок промежуточного охлаждения с айс-сларри" рассмотрены результаты изучения коррозионной стойкости образцов различных металлов (включая нержавеющую сталь) в различных хладоносителях: водных растворах хлористого кальция, водных растворах солей природного минерального источника и в хладоносителе собственного производства. Для снижения pH рассола проводили его подщелачивание. Разработан и опробован новый буферный ингибитор – эффективный, нетоксичный и недорогой. Ингибитор, условно названный "БиЦ", значительно снижает скорость общей коррозии и предотвращает появление питтингов на исследованных образцах. Ингибитор позволяет поддерживать при эксплуатации в аппаратах холодильных установок pH на оптимальном уровне 7,0–9,0.

В докладе **Ю.А. Мокашова** и **В.В. Кириллова** (СПбГУНиПТ) "Фазовый переход "вода – лед" как возобновляемый источник энергии" показано, что в силу особенностей молекулярной и электронной структуры воды из-за меньшей плотности льда по сравнению с плотностью воды энергия увеличения объема, равная энергии вновь образовавшихся связей молекул в кристалле льда, весьма значительна. Например, некое устройство, в котором замерзает тонна воды в течение 15 мин, может аккумулировать до 3,7 кВт энергии. Практическое использование такого возобновляемого источника энергии, по мнению авторов, вполне реально.

Доклады ***В.С. Колодязной, В.Н. Соколова*** *«Замораживание продуктов растительного происхождения в айс-сларри»;* ***В.В. Кириллова, Е.Т. Петрова*** *«Физико-химические свойства водноорганических хладоносителей в присутствии электролитов»,* ***Б.Т. Маринюка, В.П. Баранника*** *«Экологически безопасные хладоносители, особенности применения и свойства» публикуются в этом номере журнала.*

Интерес присутствующих вызвали и доклады, несколько выходящие за тематические рамки конференции, но содержащие информацию, полезную для каждого специалиста-холодильщика. Возможностям компьютерного обучения работе на холодильных установках был посвящен доклад **Б.И. Олейникова** ("ТРАНЗАС – электронные технологии", Санкт-Петербург), **В.В. Олейника** и **Е.Н. Игнатенко** (Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет) "Тренажер аммиачной двухступенчатой холодильной установки для морозильных комплексов". Тренажер моделирует производственную холодильную установку для замораживания рыбы до –22...–25 °С в двух типах морозильных аппаратов: воздушно-конвейерном непрерывного действия и горизонтально-плиточном периодического действия.

Всего на конференции было заслушано 17 докладов. Еще 6 докладов были представлены факультативно для информации и обсуждения. Тематика этих докладов охватывала вопросы расчета теплот фазового перехода, в том числе многокомпонентных жидких сред; составления единого уравнения состояния хладагента R134a; изохорной теплоемкости и теплопроводности жидких хладагентов; десублимации водяного пара и влияния электрических полей на процесс испарения водяных капель.

Наряду с известными учеными и специалистами на конференции дебютировали молодые исследователи **И.В. Кудрявцева, Г.Л. Пятаков, Т.Р. Толоконников, К.Е. Акаев, Д.Ф. Васильев**.

Неформально прошла дискуссия по докладам, не лишенная эмоциональности и субъективизма в оценках. По общему мнению, она была полезна для всех участников своей откровенностью и в то же время доброжелательностью.

Не комментируя дискуссии, можно тем не менее отметить одну общую мысль, которая, пожалуй, никем не оспаривалась. Речь шла об опасности этиленгликоля. Избежать утечек хладоносителя (и с этим соглашались все) практически нереально, а любой прямой контакт этиленгликоля с пищевыми продуктами грозит непредсказуемыми последствиями, вплоть до летальных. Было отмечено, что ряд стран Европы вообще решил не применять этиленгликоль в системах охлаждения.

Традиционно конференция завершилась сообщением о деятельности Рабочей группы Научного совета РАН и секции МАХ "Теоретические основы холодильной и криогенной техники" за 2003 г., сделанным их председателем **О.Б. Цветковым**, и подведением кратких итогов прошедшей конференции.