

# Энергосбережение в холодильной технике и проблемы экологии — развитие и перспективы\*

*Д-р техн. наук О. Б. ЦВЕТКОВ, канд. техн. наук Ю. А. ЛАПТЕВ*

*Санкт-Петербургский государственный университет*

*низкотемпературных и пищевых технологий*

*191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

***On February 2 2011 in St. Petersburg at the State University of Refrigeration and Food Engineering the IAR Conference «Energoefficiency and Environmental control problems of refrigeration» took place. The total of thirty one reports were presented.***

**Key words:** refrigeration, air-conditioning, heating applications, compressors, refrigerants, thermophysical properties, oils, heat exchange, environmental control.

**Ключевые слова:** холодильная техника, кондиционирование воздуха, тепловые насосы, компрессоры, холодильные агенты, теплофизические свойства, масла, теплообмен, экология.

«Холод—2011. Проэкология и энергосбережение» — с таким названием в Санкт-Петербургском государственном университете низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ) 2 февраля 2011 г. состоялась научно-техническая конференция с международным участием. Организаторы конференции: Международная академия холода (МАХ), СПбГУНиПТ, Рабочая группа «Свойства хладагентов и теплоносителей» Научного совета РАН по проблеме «Теплофизика и теплоэнергетика». Генеральные спонсоры — ЗАО «Инженерные системы охлаждения» и ООО «СПС-холод». Информационную поддержку осуществляли журналы «Вестник Международной академии холода», «Холодильная техника», «Холодильный бизнес».

В работе конференции участвовали: ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований — Сосны» Национальной академии наук Беларуси, ОДО «Холодильное оборудование» (г. Минск); Одесская государственная академия холода (ОГАХ), Одесский национальный политехнический университет, Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского (ДонНУЭТ) (Украина); Дальневосточный ГТУ, г. Владивосток; ОАО «Корпорация "Росхимзащита"», г. Тамбов; Воронежская государственная технологическая академия (ВГТА); Тюменский государственный университет (ТГУ);

МГТУ им. Н. Э. Баумана, ОАО «ВНИИхолодмаш-Холдинг», МЭИ (ТУ), ГНУ «ВИЭСХ Россельхозакадемии», МГУ технологий и управления им. К. Г. Разумовского (МГУТУ), ФГУП «ЦИАМ им. И. И. Баранова», ЗАО «ХолодГазИнжиниринг» (г. Москва); ООО «Технологии низких температур», ОАО «Гипрорыбфлот», СПбГАСУ, СПбГУНиПТ, ОАО «НИПИИ "Ленметрогипротранс"», ОАО «Метрострой», ООО «Генеральная подрядная организация "Лэнд"» (Санкт-Петербург) — см. фото.

Первый проректор СПбГУНиПТ, академик МАХ В. В. Пеленко, приветствуя участников конференции, отметил, что антропогенное воздействие на климат Земли ощутимо связано с производством и использованием искусственного холода: потребление электроэнергии холодильным оборудованием, включая системы кондиционирования и бытовую технику, в общем энергобалансе развитых стран составляет 15–20%. Докладчик напомнил о важном для холодильщиков событии — 23-м Международном конгрессе по холоду, который состоится в августе 2011 г. в Праге (Чехия), и пожелал участникам конференции успехов и плодотворной работы.

С докладом «Экологический алармизм и холодильная реальность» выступил О. Б. Цветков (СПбГУНиПТ). Наступивший 2011 г. знаменателен как год 300-летия со дня рождения первого холодильщика России — М. В. Ломоносова и 80-летия alma-mater холодильщиков — Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (бывший ЛТИХП).

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-08-00337).



*Участники конференции*

В начале 2012 г. исполняется 100 лет нашему почетному «флагману» — журналу «Холодильная техника»; 2012 г. — это и последний год реализации положений Киотского протокола 1997 г. Попытки собраться и обсудить так называемые «посткиотские реалии» на международных совещаниях пока заканчиваются протоколами о намерениях. Спорят о существовании глобального потепления, предсказывают глобальное похолодание, хотя сторонники антропогенного воздействия человека на климат Земли предупреждают о необратимых последствиях для биоты, если повышение температуры превысит даже два градуса. Лето 2010 г. показало, что подобные прогнозы не столь уж не реальны. По инициативе США, Канады и Мексики рабочая группа по Монреальскому протоколу в июне 2010 г. предложила с 2014 г. начать постепенное изъятие из обращения 22 озонобезопасных фреонов, в том числе R134a, смесевых хладагентов, нового хладагента HFO-1234yf. Резко ограничивается производство R22. Разрешенные квоты на R22 в 2015 г. едва покроют потребности даже на дозаправку низкотемпературных систем. Европа обогнала этот график, и ситуация с R22 оценивается многими как катастрофическая. Произошло в некотором смысле судьбоносное событие, поскольку в США сняли запрет на применение углеводородов в бытовых приборах. Переход на природные хладагенты в мире становится доминирующим трендом.

Доклад о переводе турбокомпрессорного холодильного оборудования с хладона 22 на озонобезопасные смесевые хладагенты представил коллектив авторов: Д. А. Акулич (ОДО «Холодильное оборудование»); В. В. Ананьев (МГУТУ); Б. Д. Тимофеев (ГНУ «ОИЭЯИ—Сосны»); М. И. Меркулов (ЦИАМ). Ретрофит будет успешным,

если число Маха на входе в первую ступень турбокомпрессора на новом хладагенте будет не менее числа Маха на R22. Проведены термодинамические расчеты двухступенчатого холодильного цикла на холодильных агентах R22, R404A, R407C и R507A, которые предполагалось использовать для ретрофита холодильного оборудования с компрессором марки ЧКД-Прага. На смесевых хладагентах по сравнению с R22 уменьшается величина холодильного коэффициента цикла, соответственно возрастает мощность на привод компрессора. Вместе с тем ретрофит с R22 на предлагаемые смесевые хладагенты возможен, так как по технической документации имеется запас по мощности. При этом необходимы замена используемого ранее холодильного масла на минеральной основе на синтетическое и тщательная промывка фреонового контура с заменой фильтрующих элементов. В «ОИЭЯИ—Сосны» на теплонасосном стенде ТН-10 проводились исследования нового озонобезопасного смесового хладагента RC318/RE170 с применением масла на минеральной основе. Получены положительные результаты для использования этого рабочего вещества в теплонасосном оборудовании.

Выступление А. А. Полевого (ООО «Технологии низких температур») было посвящено истории холодильной техники. В хорошо иллюстрированной презентации автор рассказал о создателях и конструкциях первых холодильных и криогенных машин, особо подчеркнув вклад российских ученых и инженеров.

Доклад И. А. Новосельцева (МГТУ им. Баумана) был посвящен влиянию изменения массы холодильного агента, циркулирующего в контуре, на работу системы. Целью работы является повышение энергоэффективно-

сти кондиционера в ненормальных режимах работы. Объект исследования — компрессорно-конденсаторный блок (ККБ) с фреоновой секцией приточной установки. Устройство имеет широкий температурный диапазон эксплуатации (от минус 20 до 45 °С) и диапазон тепловых нагрузок (10–100 %), эксплуатируется в режимах охлаждения и нагрева. В многофакторной задаче оптимизации работы системы по энергопотреблению необходимо увеличивать число независимых регулирующих параметров. Предлагается к уже используемым воздействиям на систему (управление оборотами компрессора, управление сопротивлением дросселя, воздействием на вентилятор ККБ) добавить еще один параметр — управление количеством холодильного агента, циркулирующего в системе. Система управления при изменениях нагрузки и температурных условий поддерживает давления кипения, конденсации и заполнения теплообменных аппаратов хладагентом, оптимизируя энергопотребление для конкретных условий, что в итоге дает высокие показатели в сезонном энергопотреблении.

Об испытаниях винтового маслозаполненного компрессора в режиме теплового насоса рассказал В. Н. Докукин (СПбГУНиПТ). Маслозаполненный винтовой компрессор малой производительности с новым профилем зубьев и соотношением числа зубьев  $z_1/z_2 = 6/8$  был спроектирован в ФГУП «Конструкторское бюро "Арсенал" им. М. В. Фрунзе» совместно с СПбГУНиПТ. Привод компрессора осуществляет ведомый 8-заходный ротор. Основные технические характеристики компрессора: наружный диаметр ведущего ротора  $D_1 = 80$  мм; ход ведущего ротора  $h_1 = 144$  мм; наружный диаметр ведомого ротора 73,6 мм; длина роторов  $l_B = 125$  мм; среднеквадратичная величина профильных зазоров  $\delta = 0,03 \div 0,06$  мм; геометрическая степень сжатия  $\varepsilon_T = 3,6$ ; теоретическая объемная производительность компрессора  $V_T = 0,0226$  м<sup>3</sup>/с при частоте вращения ведомого винта  $n_2 = 50$  с<sup>-1</sup>. В СПбГУНиПТ на специальном стенде проведены испытания винтового компрессора с помощью хладагента R134a. Температура кипения хладагента изменялась от минус 10 до 5 °С, температура конденсации — от 27 до 60 °С. Наружная степень повышения давления находилась в пределах 3,5–6,6; частота вращения ведомого ротора — в диапазоне 30–50 с<sup>-1</sup>. Холодопроизводительность  $Q_0$  изменялась в диапазоне 10–37,5 кВт, теплопроизводительность  $Q_h$  — до 49 кВт. Полученные данные показывают, что характеристики винтового маслозаполненного компрессора, работающего на хладагенте R134a, имеют значения, соизмеримые с аналогичными характеристиками винтовых маслозаполненных компрессоров более высокой производительности, а сам компрессор может эффективно применяться в составе холодильной машины, кондиционера и теплового насоса.

О. В. Волкова (СПбГУНиПТ) и А. Н. Паркин (ОАО «ВНИИХолодмаш-Холдинг») посвятили доклад энтропийному анализу термодинамического цикла абсорбционного бромистолитиевого двухступенчатого повышающего термотрансформатора. Сопоставление теоретических показателей энергетической эффективности каскадной и ступенчатой схем повышающего термотрансформатора позволило сделать вывод о превосходстве ступенчатого варианта. Создана математическая модель цикла, позволяющая учесть действительный характер происходящих в машине тепло- и массообменных процессов, а также изучить влияние на показатели несовершенства входящих в цикл процессов. Метод энтропийных балансов позволил в сочетании с теоремой Клаузиуса—Гюи—Стодолла раскрыть структуру затрат подводимой теплоты и выявить в схеме элементы, требующие повышенного внимания при решении задачи увеличения энергетической эффективности установки в целом. Достоинством предлагаемого метода является то, что он не подразумевает в явном виде использования противоречивого в области отрицательных температур понятия эксергии потока тепла. Предлагаемое схемное решение обеспечивает сокращенное (в сравнении с каскадным вариантом компоновки ступеней) аппаратное оформление, включающее три блока: блок генератора-конденсатора и двух ступеней абсорберов-испарителей с растворными теплообменниками, что позволяет с минимальными затратами электрической мощности существенно (на 40–50 °С) повысить температурный уровень бросовой тепловой энергии (порядка 50 °С), сделав ее вновь пригодной для использования.

В докладе А. Е. Денисовой, В. Ю. Бирюк (ОНПУ), Ю. В. Пьянковой (ДонНУЭТ) рассмотрены пути повышения эффективности теплонасосных систем для энергообеспечения промышленных предприятий Украины. Экологическое состояние окружающей среды и постоянный рост цен на энергоносители предопределяют более широкое использование вторичных энергоресурсов. Для оценки термодинамической эффективности теплонасосных установок авторами использован эксергетический анализ.

О перспективах использования интегрированных теплонасосных систем (ИТНС) для ТЭС и АЭС шла речь в докладе А. Е. Денисовой, В. Ю. Бирюк (ОНПУ), В. В. Карнаух и Ю. В. Пьянковой (ДонНУЭТ). Одним из путей повышения энергетической безопасности Украины может быть использование ИТНС энергообеспечения с теплонасосными технологиями и двигателями Стирлинга, где основными являются затраты на электропривод компрессора. При этом повышается использование энергоблоков конденсационных электрических станций (КЭС) в базовой нагрузке, которая, в свою очередь, приведет к постепенному увеличению потребления электроэнергии АЭС и ТЭС вместо дорогого импортиру-

емого природного газа. Рассмотрены основные аспекты применения ИТНС в тепловых схемах конденсационных электрических станций для повышения эффективности цикла и оптимизации существующих схем. Данные системы дают возможность оптимизировать существующие схемы на КЭС для повышения КПД паросилового цикла и уменьшить тепловую нагрузку на окружающую среду.

«Оборудование для аккумулирования и использования природного холода в сельском хозяйстве» — тема доклада А. Б. Коршунова (ВИЭСХ Россельхозакадемии). Разработано оборудование с использованием холодного атмосферного воздуха и грунта, поглощения теплоты при фазовом переходе хладоносителя из твердого состояния в жидкое, поглощения теплоты испарения под вакуумом, а также аккумулирования холода. Это — аккумуляторы холода комбинированного типа АК, 6 модификаций аккумуляционной установки типа МО-Сх (ТУ 3644–002–014038611–97), 20 модификаций конденсаторов воздушно-испарительного действия типов КВ и КГ (ТУ 3644–002–014308611–97); приемники природного холода типов ПА и ПАГ и др. Применение природного холода для охлаждения сельхозпродукции позволяет в два-три раза сократить затраты на электроэнергию за счет использования льготного ночного тарифа, повысить надежность холодильного оборудования, снизить капитальные и эксплуатационные затраты на 20–30 %.

Методам автоматизированного расчета аппаратов холодильных машин был посвящен доклад П. С. Полякова (ОАО «ВНИИХолодмаш-Холдинг»). Использован системный подход, который подразумевает разделение системы на элементарные единицы, описание каждой из них и системы в целом. Автором рассмотрены основные принципы построения универсального метода расчета теплообменных аппаратов. Данный метод акцентирует внимание только на площади поверхности теплообмена и базируется на решении дифференциальных уравнений сохранения энергии и импульса для каждой рабочей среды с условиями, характерными для разных групп аппаратов. Точность уравнений, описывающих процессы теплообмена и гидродинамики, оказывает существенное влияние на результирующую погрешность математической модели. Выбранные зависимости специализированы по типу процесса, типу аппарата, применяемому холодильному агенту и диапазону режимных параметров. Предложенный метод можно использовать как в проектном, так и в поверочном расчете аппаратов, который необходим для определения характеристик холодильной системы и является частью расчета характеристик холодильных систем. Результаты проверки адекватности этой модели на различных экспериментальных стендах подтвердили достаточное сходжение с расчетными характеристиками холодильной системы.

Перспективы производства холодильных масел в России были обозначены в докладе О. Н. Цветкова (ОАО

«ВНИИ НП») в связи с модернизацией номенклатуры базовых масел. В XXI век мировое производство смазочных масел (около 38 млн т/год) вошло с мощно развивающимися каталитическими процессами и технологиями получения базовых и товарных масел. Российское производство базовых масел (порядка 2,5 млн т/год), созданное в 50–80-е годы прошлого века, более чем на 98 % использует экстракционные селективные технологии извлечения из нефтяного сырья масел I группы по классификации API. Современное производство базовых масел (примерно 3 млн т/год) характеризуется девятью действующими маслоблоками. В последние годы под действием усиливающейся конкуренции и необходимости выполнения экологического законодательства начаты проекты создания базовых масел II группы («НК Роснефть») и III группы («ТАНЕКО») с вводом в действие установок в 2013–2014 гг. Проекты создания гидрокаталитических установок получения базовых масел II и III групп рассматриваются и другими российскими нефтяными компаниями. Базовые масла II и III групп отличаются от масел I группы более низким (на порядок) содержанием серы и более высоким индексом вязкости. Для производства высококачественных холодильных масел на нефтяной основе в России сегодня имеются благоприятные предпосылки, для реализации которых важны динамика развития холодильной техники и мониторинг потребности в маслах на перспективу.

Преподаватели, аспиранты и студенты кафедры инженерной теплофизики ОГАХ представили результаты комплексных исследований растворов холодильных агентов с компрессорными маслами. В докладе В. П. Железного и А. С. Маркварт представлена новая SP-QSPR-модель для прогнозирования теплофизических свойств хладагентов и растворов хладагент/масло. Предлагаемая методика направлена на интегрирование принципов скейлинга (SP) в существующие структурно-аддитивные методы расчета (QSPR) и позволяет на основе ограниченного объема эмпирической информации прогнозировать теплофизические свойства хладагентов и растворов хладагент/масло на линии кипения практически во всем интервале параметров существования жидкой фазы.

«Влияние примесей компрессорного масла в хладагенте R600a на интенсивность теплообмена при кипении в свободном объеме» — тема доклада С. С. Крыжановского, И. В. Олейника, А. В. Мельника, Ю. В. Семнюка и В. П. Железного. С использованием разработанных в ОГАХ методов исследования термодинамических свойств растворов хладагент/масло (PXM) были созданы диаграммы давление—энтальпия для реального рабочего тела R600a/Азмол. Также приведены результаты экспериментальных исследований процессов кипения изобутана и PXM при различных температурах и концентрациях масла. Расчеты показывают понижение коэффициента теплоотдачи при росте концентрации масла в хладагенте.

В докладе «Моделирование фазовых равновесий растворов хладагент/масло» Т. Л. Лозовский, С. П. Чапская, Н. И. Безволева, Д. А. Ивченко, В. П. Железный представили результаты экспериментальных исследований и моделирования фазовых равновесий растворов хладагент/масло (РХМ). На основе трехфазной модели Гугенгейма была разработана методика оценки концентрации поверхностного слоя РХМ по экспериментальным данным о фазовом равновесии и поверхностном натяжении. Предложен новый способ определения параметров кубических уравнений состояния на основе данных о давлении насыщенных паров и показателе преломления компонентов рабочего тела.

О влиянии добавок наночастиц  $TiO_2$  на поверхностное натяжение минеральных компрессорных масел и давление насыщенных паров растворов хладагент/масло сообщили Н. А. Приходченко, П. В. Борзенков, А. В. Мельник, В. П. Железный. Исследование поверхностного натяжения масла проводили на установке, реализующей метод максимального давления в пузырьке. После добавления наночастиц наблюдались снижение значения поверхностного натяжения минерального масла и повышение давления насыщенных паров растворов для системы R600a/ХМИ Азмол +  $TiO_2$  на 5 %. Возрастание давления приводит к увеличению массового расхода хладагента и повышению холодопроизводительности. Добавки наночастиц к рабочему телу могут, по мнению авторов, использоваться для повышения показателей эффективности работы холодильной машины.

Доклад М. А. Ульяновой, В. П. Андреева, Е. Е. Ломовцевой (ОАО «Корпорация "Росхимзащита"») был посвящен сорбентам для осушки фреонов, в частности результатам исследований по созданию комбинированных блоковых сорбентов, полученных путем прессования композиции, состоящей из гранул силикагеля, цеолитового мелкосферического сорбента и органоминерального связующего вещества, обладающего адсорбционной активностью по парам воды. Закрепление гранул сорбентов в единый блок позволяет исключить истирание и пыление гранул. Образцы в течение 14 сут проходили испытания по оценке влагоемкости в статических условиях и в составе холодильной машины климатической камеры марки «ILKA». Полученные результаты показали, что влагоемкость блоков составляет от 114 до 354 мг/г в зависимости от влажности осушаемого газа. Масса блоков после испытаний в составе холодильной машины увеличилась на 21 %.

О выборе оптимальных параметров цикла установок малой производительности для получения сжиженных природных газов (СПГ) рассказали Л. Б. Волокитин (ЗАО «ХолодГазИнжиниринг»), А. Н. Паркин и А. Д. Славуцкий (ОАО «ВНИИхолодмаш-Холдинг»). Применение СПГ перспективно для газификации мест, находящихся в удалении от газопроводов, и накопления аварий-

ных запасов топлива. Для продвижения технологий СПГ необходимо создание разветвленной сети малых ожижителей на базе территориально широко распространенных газовых котелен, которым производимый как побочный продукт СПГ поможет более гибко реагировать на колебания в потреблении сетевого газа и формировать из него аварийный топливный запас. Продажа СПГ как заменителя сжиженного пропан-бутана владельцам загородного жилья, находящегося на удалении от котельной, станет стимулом для еще более широкого внедрения данной технологии. Для типовой котельной с газовым обогревом произведены оптимизационные расчеты предлагаемой установки, работающей по циклу низкого давления Капицы с использованием энергии, получаемой в турбодетандере для дожатия входящего потока газа в турбокомпрессоре. Расчеты, проведенные для входного давления газа в питающем газопроводе 0,35–0,40 МПа, показали, что коэффициент ожижения подобной установки может достигать 6,0–6,5 %.

О разведочном азотном замораживании грунтов при проходке вестибюля станции метро «Международная» в Санкт-Петербурге рассказали представители ОАО «НИПИИ "Ленметрогипротранс"» и ОАО «Метрострой» В. А. Маслак, М. О. Райнус, А. Н. Михайлов, А. М. Бруев и Д. Ю. Артюхов. Замораживание проводилось с целью определения интенсивности движения подземных вод и возможного негативного влияния водопритоков на качество проходческих работ. За двое суток в 6 скважинах было израсходовано 15 т жидкого азота. В течение последующих трех суток проводились наблюдения за процессом растепления ледогрунтовых цилиндров. Результаты разведочного азотного замораживания позволили возобновить проходческие работы без дополнительных мероприятий, предусмотренных проектной технологией. Экономия составила более 200 т жидкого азота, а продолжительность производственного цикла была сокращена на 20 сут.

Доклад «Ветроагрегатные системы термостабилизации пластично-мерзлых грунтов» (авторы: В. И. Гуров, Т. Д. Каримбаев (ЦИАМ); А. Б. Шабаров (ТГУ); В. В. Улитин (СПбГУНиПТ); В. В. Ананьев (МГУТУ)) был посвящен результатам разработки и испытаний ветроэнергетических систем с генерацией электричества, холода и теплоты для ретрансляционных башен мобильной радиосвязи районов Крайнего Севера. Воздушная холодильная установка круглогодично обеспечивает термостабилизацию грунта основания башни через систему термоколонок воздушного охлаждения. Ветроагрегатные системы предназначены для работы ретрансляторов в условиях отсутствия или недостаточности энергоснабжения. Проведены испытания пилотных систем с высотой башен до 10 м и мощностью до 5 кВт в условиях Уренгоя. Совместно с ОАО «РИВЗ» и ФГУП «Балакиревский

механический завод» закончены проекты ретрансляционных башен связи высотой 45 и 72 м.

Особенности теплопереноса при получении эффективных термоэлектрических материалов методом искрового плазменного спекания рассмотрели И. А. Нефедова и А. В. Асач (СПбГУНиПТ). Увеличение термоэлектрической добротности материалов является одним из приоритетных направлений исследований в области термоэлектричества и возможным путем использования нанотехнологий. Одним из методов получения наноструктурированного материала является SPS-метод (Spark Plasma Sintering) или метод искрового плазменного спекания. Процесс искрового плазменного спекания начинается с прессования порошкового материала под большим давлением. С помощью электрического импульса большой мощности, формируемого с помощью генератора постоянного тока, в участках образования контактов между частицами спекаемого материала концентрируется энергия высокой плотности, которая обеспечивает пространственную точность прессовки и однородность компактного материала. Для оценки величин температурных градиентов, возникающих в материале, подвергаемом SPS-спеканию, описана физическая модель и решены уравнения процесса.

Особенности строительства гелиозданий для условий муссонного климата обсуждались в докладе Р. С. Федюка (Дальневосточный ГТУ). В районах с муссонным климатом (в частности, Приморском крае) целесообразна форма зданий в виде узкого, вытянутого параллелепипеда, что способствует нейтрализации высокого давления водяного пара. Для снижения термического воздействия окружающей среды рационально блокировать отдельные здания, располагая их в ряд в виде протяженных параллелепипедов или единых массивных блоков, а также повышать этажность зданий. Наиболее рационально проектировать здания кубической формы или слегка вытянутые с узким корпусом в направлении оси восток–запад. Эффективность потребления энергии зданием зависит от свойств его светопроницаемого остова, термического сопротивления, термической мощности и термического отражения. Взаимодействие между светопроницаемым остовом и другими элементами здания — важный резерв сохранения энергии. Для этой цели весьма важно также рациональное решение планировки, интерьера здания, конструкции стен и покрытий.

Коллектив авторов: В. В. Осокин, Ю. А. Селезнева, К. А. Ржесик, М. В. Демин, А. Н. Бирюков (ДонНУЭТ) представил доклады об оценке пожароопасности при использовании в малой холодильной технике углеводородов (на примере изобутана) и о новациях в обеспечении взрывопожаробезопасности при использовании изобутана как хладагента в бытовых холодильниках. Ежемесячное количество ремонтов бытовых холодильников, работающих на изобутане, из-за утечек

хладагента имеет вероятность  $1,97 \cdot 10^{-2}$ , в том числе из испарителей —  $3,10 \cdot 10^{-3}$ . Экспериментальным путем на созданном стенде установлены особенности утечек изобутана из компрессорной системы бытового холодильника через микроповреждения. Из поврежденной линии нагнетания утечки хладагента происходят как при работе, так и остановке компрессора. При наличии достаточно мощного теплового импульса вначале воспламеняются пары компрессорного масла (по данным тепловизионной съемки — температура вспышки  $270^\circ\text{C}$ ), а затем — изобутано-масляная аэрозоль и изобутан (температура горения  $562\text{--}665^\circ\text{C}$ ). Результаты опытов показали, что бытовая холодильная техника, работающая на взрывопожароопасных хладагентах, должна быть укомплектована устройствами, реагирующими на микроутечки, а также реализованы меры, исключаящие наличие тепловых импульсов в местах возможных утечек хладагента. Диагностировать утечку рабочего вещества из компрессорной системы на любом ее участке можно по понижению температуры на поверхности испарителя вследствие понижения давления паров и, следовательно, температуры кипения хладагента.

Разработке и совершенствованию полимерных газовых (воздушных) и жидкостных (водяных) коллекторов для систем теплоснабжения и кондиционирования были посвящены доклады А. В. Дорошенко (ОГАХ) и В. П. Данько (ДонНУЭТ). Эффективность испарительного охлаждения сред ограничена внешними климатическими условиями и обусловлена малым энергопотреблением и экологической чистотой. В качестве теплообменной аппаратуры осушительного и охладительного контуров используются поперечноточные аппараты пленочного типа с насадкой из полимерных материалов. В работе проведены разработка и термодинамический анализ схемных решений, разработка теплообменного оборудования для основных блоков осушения и испарительного охлаждения, экспериментальное исследование процессов в основных теплообменных аппаратах систем.

Как отметили авторы доклада «Разработка вакуум-сублимационной установки с использованием наноматериалов и термоэлектрических модулей» Т. И. Некрылова, А. С. Шахов, Тарик Джуахра (ВГТА), одним из недостатков известных способов вакуум-сублимационной сушки термолабильных продуктов является отсутствие возможности регенерации поверхности десублимации при работе сушилки в непрерывном режиме. Для интенсификации процесса сублимационной сушки продукта в ВГТА разработана установка с использованием наноматериалов и термоэлектрических модулей, в которой обеспечиваются регенерация поверхности десублимации при работе сушилки в непрерывном режиме, снижение нагрузки на вакуум-насос, повышение эффективности

улавливания паров испарившейся влаги на поверхности десублимации.

В сообщении С. А. Сосунова (СПбГУНиПТ) рассматривались вопросы теплообмена в сублимационных установках малой объемной производительности.

Сообщение В. Т. Антуфьева и О. В. Бычихина (СПбГУНиПТ) было посвящено методике расчета расхода энергии на дефростацию замороженного блока рыбы с применением электрогидравлического удара.

Теплофизические исследования процессов кристаллизации жировых продуктов были рассмотрены в докладе Д. В. Петухова, Б. А. Рогова (СПбГУНиПТ). Вопросы моделирования теплофизических процессов при кристаллизации жировых продуктов достаточно актуальны в связи с тем, что для веществ, обладающих фазовыми переходами, наблюдается существенное различие теплофизических свойств в зависимости от скорости указанных процессов. Получены экспериментальные значения удельной теплоемкости свиного жира в диапазоне температур от 12 до 25 °С в условиях квазистационарного режима нагрева образца. Проанализировано влияние скорости нагревания или охлаждения исследуемого об-

разца на изменение основных характеристик процессов кристаллизации жировой продукции.

Е. Е. Устюжанин (МЭИ) в своих докладах дал оценки информации о теплофизических свойствах хладагентов и скейлинговых моделях для описания термодинамических свойств, в том числе на линии насыщения.

В докладах сотрудников СПбГУНиПТ обсуждались исследования теплофизических свойств хладагентов. О втором вириальном коэффициенте метана доложил А. В. Клецкий. Тема доклада О. Б. Цветкова, Ю. А. Лаптева — теплопроводность HFC-хладагентов на линиях фазового равновесия. Доклады В. А. Рыкова, С. В. Рыкова, А. В. Рыкова и И. В. Кудрявцевой были посвящены описанию линии фазового равновесия и асимметричному масштабному уравнению состояния хладагента R23.

С докладом о подведении итогов работы в 2010 г. и о планах на 2011 г. Рабочей группы «Свойства хладагентов и теплоносителей» Научного совета РАН и секции МАХ «Теоретические основы холодильной и криогенной техники» выступил ее председатель О. Б. Цветков.

*Участники конференции отметили полезность ежегодных встреч в Санкт-Петербурге и необходимость их продолжения.*