

## ПОСТ-РЕЛИЗ

### Научно-технической конференции с международным участием «Трансформации низкотемпературных энергосистем в контексте экологического глобализма»

2 февраля 2021 г. в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете ИТМО (Университет ИТМО) на мегафакультете «Биотехнологии и низкотемпературные системы» состоялась научно-техническая конференция с международным участием «Трансформации низкотемпературных энергосистем в контексте экологического глобализма».

Организаторы конференции: Рабочая группа «Свойства хладагентов и теплоносителей» Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН, Университет ИТМО, Международная академия холода (МАХ). Информационную поддержку осуществляли журналы «Вестник Международной академии холода», «Империю холода», интернет-порталы «РефПортал», «Holodinfo.ru». Генеральные спонсоры конференции: ООО «Ривсмаш Т», ООО «Геокриолог», ООО «А и Т», ЗАО «Инженерные системы охлаждения», Инженерный центр энергоэффективных холодильных технологий и автоматики.

В конференции принимали участие: Одесская национальная академия пищевых технологий (ОНАПТ), Республика Украина; ГНУ «Центр изучения ледников НАНТ» (ЦИЛ НАНТ), Республика Таджикистан; Российское географическое общество; Московский государственный университет пищевых производств (МГУПП); Московский государственный университет технологий и управления им К. Г. Разумовского (Первый казачий университет) (МГУТУ); Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности (ВНИХИ) — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН (Москва); Московский авиационный институт (МАИ); Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН (ИФТПС), Якутск; ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН» (ЯНЦ); Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН (ИМЗ), Якутск; Якутский научный центр комплексных медицинских проблем (ЯНЦ КМП); Арктический государственный агротехнологический университет (Арктический ГТУ), Якутск; Астраханский государственный технический университет (АГТУ); Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова (РЭУ), Москва; НИУ «Московский энергетический институт» (МЭИ); ООО «Рудетранссервис», Великий Новгород; Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН (ВНИИМП), Москва, ООО «Ривсмаш Т» (Москва); Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ); ООО «Геокриолог», Санкт-Петербург; Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ); ГНЦ РФ «Арктический и антарктический НИИ (ААНИИ), Санкт-Петербург; Санкт-Петербургский го-

сударственный политехнический университет Петра Великого (СПбПУ); Санкт-Петербургский морской рыбопромышленный колледж», филиал Калининградского ГТУ (СПбМРК); преподаватели, научные сотрудники, аспиранты, докторанты, магистранты и бакалавры старших курсов Университета ИТМО.

С приветственным словом выступили директор мегафакультета биотехнологий и низкотемпературных систем Университета ИТМО — профессор Баранов И. В. и президент Международной академии холода — профессор Бараненко А. В. Подчеркнута важность и актуальность обсуждаемых на конференции экологических проблем, связанных с техникой низких температур, играющей стратегическую роль в мировой экономике. Выступающие пожелали участникам конференции плодотворной работы, профессиональных успехов, здоровья и благополучия.

Открыл конференцию доклад Цветкова О. Б. (Университет ИТМО) «Климатические императивы и приоритеты выбора современных синтетических хладагентов». Рассмотрены проблемы глобального потепления как реальной экологической угрозы человечеству в аспекте использования в технике низких температур современных синтетических хладагентов. В центре внимания — альтернативные хладагенты с минимальным потенциалом глобального потепления: метены, пропены и бутены. Обсуждаются вопросы термодинамической эффективности, пожаробезопасности и токсичности указанных галогенопроизводных олефинов. Для переходного периода запрета на применение гидрофторуглеродов с 2036 г. обсуждается возможное применение смесей гидрофторхлоролефинов и традиционных гидрофторуглеродов.

«Эволюция и энерготехнологические аспекты описания климата Земли» рассмотрены в сообщении Кухтенко Е. В., Митропова В. В. (Университет ИТМО). Ранее признавалось, что климатическую модель можно охарактеризовать как неравновесную термодинамическую систему, увеличивающую энтропию за счет необратимых процессов, и поддерживающую устойчивое состояние посредством энергетического и энтропийного баланса с окружающей средой. Первый подход, с точки зрения которого рассматривается это допущение, предполагает акцент на динамических процессах, связанных с переходом энергии системы из одной формы в другую. Описанная Э. Лоренцем концепция доступной потенциальной энергии атмосферы, затрачиваемой для преобразования в кинетическую энергию движения воздуха при его адиабатическом перераспределении, позволяет определить климатическую систему как тепловую машину. Второй подход подразумевает необратимость климатических процессов, связанную с принципом максимальной

энтропии, заключающимся в том, что неравновесная нелинейная система изменяет свое состояние таким образом, чтобы производство энтропии было максимальным.

**«Развитие международного авторефрижераторного транспорта»** обсуждается в докладе Бабакина Б. С. (МГУПП), Белозерова Г. А., Бабакина С. Б. (ВНИХИ). В настоящее время, в мире насчитывается около 5 млн авторефрижераторных средств, включающих фургоны (40%), грузовые автомобили (30%), полуприцепы и прицепы (30%), и 1,2 млн рефрижераторных контейнеров. Основными производителями авторефрижераторов в мире являются фирмы «ThermoKing», «Carrier Transcold», «Brand Kuhelahrzeug», «Dachser Lebensmittel-Logistics».

Рефрижераторный транспорт во многих странах развивается большими темпами. В частности, авторефрижераторы, специальные фургоны, траулеры пользуются в Европе, Северной Америке, Азиатско-тихоокеанском регионе возрастающим спросом, обеспечивая оперативные поставки свежих и замороженных продуктов в города, населенные пункты и труднодоступные районы. Согласно статистике, автомобильным транспортом в пределах Евросоюза перевозится около 44% грузов, т. е. грузоотправители предпочитают именно этот способ доставки своей продукции. По данным исследовательской компании Marketstand Markets, международный рынок рефрижераторных перевозок к 2019 г. практически удвоился по сравнению с 2014 г. (до 93,6 млрд долларов США). За период 2012–2019 гг. увеличение составило в Северной Америке 30–32%, в Европе 27–30%, в Азиатско-Тихоокеанском регионе 50%. Ключевыми поставщиками услуг на рынке международных рефрижераторных перевозок являются компании: Toll Holdings Limited (Австралия), DHL Line-Deutsche Post AG (Германия), А. П. Моллер-Мэерск А/С (Дания), FedEx Corporation (США), Ryder System, Inc. (США).

Рассмотрены перспективные направления развития авторефрижераторного транспорта: применение аккумуляторов холода, капсулы которых заполнены веществом с фазовым переходом, что позволяет улучшать экологическую безопасность и снижать шум при погрузочно-разгрузочных операциях; использование электрофизических методов для сохранения качества пищевых продуктов путем бактерицидной обработки внутреннего объема кузовов, тары и оборудования авторефрижераторов.

Доклад Ермолаева В. А. (РЭУ им. Г. В. Плеханова) посвящен **«Адиабатическому размагничиванию, как способу получения низких и сверхнизких температур»**. Адиабатное размагничивание парамагнитных веществ аналогично адиабатному расширению газа. В обоих случаях работа против внешних сил совершается за счет внутренней энергии, что приводит к понижению температуры тела. Метод был открыт в 1881 г. Е. Варбургом. Ланжевен П. 1905 г. был первым, кто продемонстрировал, что изменение намагниченности парамагнетика приводит к уменьшению температуры образца. Диапазон температур, до которых можно охладить вещество с помощью адиабатического размагничивания (обычно это газ), действительно огромен. Можно использовать размагничивание для достижения нормальной температуры ох-

лаждения 240 К, но также и для достижения сверхнизкой температуры 0,3 К.

В настоящее время во многих отраслях промышленности активно развивается шестой технологический уклад. Основные отрасли — нано- и биотехнологии, наноэнергетика, молекулярная, клеточная и ядерная технологии, нанобиотехнологии, биомиметика, нанобионика, нанотроника, а также другие наноразмерные производства. А это — новые медицина, бытовая техника, виды транспорта и коммуникаций; использование стволовых клеток, инженерия живых тканей и органов, восстановительная хирургия.

Проанализировав историю развития техники, в частности, получения искусственного холода, можно сделать вывод, что в ближайшее время должен произойти качественный скачок в развитии холодильной техники и технологий: создание и внедрение холодильников, работающих на принципе адиабатического размагничивания. В данной научно-технической гонке Россия должна занять лидирующее место, в том числе в области исследований адиабатического размагничивания.

Носков А. Н., Шапошникова М., Самадов Д. (Университет ИТМО) представили доклад **«К вопросу регулирования производительности холодильного винтового компрессора при переменных температурах окружающей среды»**. Использование воздушного конденсатора позволяет в холодное время года значительно уменьшить давление конденсации, что увеличивает энергетическую эффективность пароконденсаторной холодильной машины. Значительное снижение давления конденсации приводит к неустойчивой работе терморегулирующих вентилей. Известен способ решения этой проблемы путем установки перед регулирующим вентилем насоса, который повышает давление жидкого хладагента. Кроме того при понижении температуры и давления конденсации необходимо одновременно регулировать (уменьшать) холодопроизводительность. Решение этой задачи зависит от типа используемого компрессора. В настоящее время в холодильной технике нашли широкое применение маслозаполненные винтовые компрессоры, обладающие рядом преимуществ перед компрессорами другого типа. Одним из преимуществ является наличие встроенного регулятора производительности, состоящего из золотника или золотника и подпятника

Предлагается регулятор, состоящий из золотника и двух поворотных заслонок, что позволяет не только регулировать геометрическую степень сжатия, но и получить необходимый закон ее изменения при уменьшении производительности, что повышает эффективность работы компрессора при переменных температурах окружающей среды. Например, для винтового компрессора, работающего на хладагенте R22, с асимметричным профилем зубьев винтов и внешними диаметрами винтов 160 мм при уменьшении холодопроизводительности в два раза при регулировании предложенным регулятором затраты мощности уменьшаются на 38% по сравнению с регулятором, состоящим из одного золотника с постоянной геометрической степенью сжатия.

**«Перспективы развития бытовой холодильной техники»** обсудили Бабакин Б. С. (МГУПП), Бабакин С. Б. (ВНИХИ). Первые бытовые холодильники по-

явились в США в 1910 г. После открытия Томасом Миджи в 1928 г. хлорфторуглеродов и использование их в качестве рабочих веществ холодильной техники, резко возросло производство холодильных бытовых приборов. Уже в 1936 г. мощности американских заводов по выпуску компрессионных холодильников, работавших на хладагенте R12, составляли 2 млн штук.

В настоящее время более одного миллиарда бытовых холодильников используют хладагенты R600a и R134a. По данным UNEP в 2020 г. около 75% новых холодильников работает на R600a и других альтернативных хладагентах и 25% — на R134a. Всего же в мире эксплуатируется около 2 млрд бытовых холодильников и морозильников.

Согласно результатам ряда исследований, объем мирового рынка продаж бытовых холодильников и морозильников в 2015 г. превысил 59 млрд \$ США, а в 2017 г. уже составил 72,43 млрд \$. Ожидается, что в 2025 г. он достигнет 126 млрд \$.

В Европе хладагент R600a в бытовых холодильных приборах применяется с 1994 г. Согласно международному стандарту IEC 60335-2-24, допустимая норма заправки R600a ниже 150 г хладагента. С 2018 г. норма заправки стала больше 150 г.

В настоящее время рассматриваются возможность применению хладагента R1234yf и, по некоторым источникам, уже началось его применение. В обозримом будущем R1234yf вряд ли вытеснит R600a и R134a из бытовой холодильной техники, он может лишь занять промежуточную нишу.

Некоторые направления развития бытовой холодильной техники предусматривают, в частности, применение электроконвективной воздушной среды для интенсификации процесса теплообмена в аппаратах и применение низкотемпературной неравновесной плазмы для бактерицидной обработки внутреннего объема холодильных и морозильных камер.

Малинина О. С., Лядова Е. Е., Комаров К. А. (Университет ИТМО) в докладе «**Абсорбционные гелиоохладильные машины в системах хладоснабжения**» отметили, что эффективное использование абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин связано с созданием экологически чистых и безопасных энергосберегающих систем, способствующих увеличению выпуска продукции и улучшению условий труда на предприятиях. В работе рассмотрена система хладоснабжения на базе абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с использованием солнечной энергии. Выполнен анализ энергетической эффективности цикла с многоступенчатыми процессами абсорбции и генерации.

«**Методику определения расчетных параметров систем кондиционирования воздуха в условиях аридного климата (Эритрея)**» представили Галимова Л. В., Семенов А. Е., Лувам Д. Г. (Астраханский ГТУ). Эритрея — страна в Северо-Восточной Африке. Согласно классификации климата Кёппена, в Эритрее преобладают два вида климата: субтропическая пустыня (сухой жаркий климат) и теплый аридный климат. Для регионов с жарким подтипом аридного климата характерна жаркая и экстремально жаркая погода в течение всего года с абсолютными максимумами температуры 40–45 °C и более

и малым количеством атмосферных осадков (около 100–200 мм/год) или полным их отсутствием.

Для подобных экстремальных климатических условий определение параметров наружного воздуха требует разработки методики, учитывающей их особенности. Объектом исследования является здание государственного учреждения «Колледж морской науки и техники штата Массачусетт», расположенное в городе Массачусетт (Эритрея).

Климатические данные, необходимые для определения температуры наружного воздуха и относительной влажности, определялись из общего объема метеоданных за 10 мес работы колледжа в течение 12 ч, с 8–00 до 20–00, каждые 30 мин в течение 2018 г. Были определены значения температуры и относительной влажности за исследуемый период: 32,6 °C и 69% соответственно, повторяющиеся при измерениях с наиболее высокой частотой. Более высокие значения по сравнению с расчетной температурой должны наблюдаться в среднем не более 220 часов в год. В связи с этим для проектирования системы кондиционирования воздуха были приняты: температура воздуха 36,6 °C и относительная влажность воздуха 80%. Эти значения согласуются со средними статистическими значениями указанных параметров.

«**Применение энергии фазового перехода в аккумуляторах холода с использованием сферических капсул**» — тема доклада Сучкова А. Н. (ВНИИХИ), Бабакина Б. С. (МГУПП). Хранение и накопление энергии — чрезвычайно важная задача современной науки и техники независимо от того, какая это энергия: химическая, тепловая, механическая, электрическая или иная. Существуют различные типы накопителей низкотемпературной энергии (НТЭ), которые могут накапливать холод, используя теплоту фазового перехода, либо непосредственное охлаждение. Приведены результаты экспериментальных исследований теплообмена при охлаждении жидкостной и воздушной сред в аккумуляторе холода с использованием сферических капсул.

Заготовка льда внутри капсул имеет ряд преимуществ — это низкая стоимость, удобство использования, универсальность и экологичность. Холодоаккумулирующим веществом внутри капсул могут быть солевой раствор, раствор гликоля и др. Сами капсулы — пластиковые, обычно изготавливаются из поливинилхлорида (ПВХ) (низкая стоимость и высокая прочность). Хранение низкотемпературной тепловой энергии сильно зависит от среды, в которой она хранится. Чтобы полностью использовать скрытое тепловыделение во время плавления (период разряда), холодоаккумулирующее вещество должно удовлетворять требованиям охлаждаемой системы как по желаемой температуре плавления, так и по скрытой теплоте фазового перехода. В подавляющем большинстве систем накопления НТЭ в виде капсул в качестве среды хранения используется вода. Преимущества использования воды включают: низкую стоимость, высокую удельную теплоемкость, высокую скрытую теплоту плавления.

Рассмотрены капсулы, которые имеют сферическую форму, но возможны и другие геометрические формы, включая прямоугольную, цилиндрическую и кольцевую формы. Сферическая геометрия гораздо более распространена из-за простоты ее изготовления и удобства за-

сыпки, что устраняет необходимость во внутренней структуре для ориентации капсул с холодоаккумулирующим веществом.

«Влияния вязкости компрессорных масел и примесей фуллерена C60 в хладагенте R290 на показатели эффективности холодильной компрессорной системы» прокомментировали Железный В. П., Корниевич С. Г., Хлиева О. Я., Нестеров П. С. (ОНАПТ). Приведены результаты экспериментального исследования параметров эффективности компрессорной системы с использованием хладагента с маслами различного состава и вязкости, а также примесями фуллерена C60, диспергированными в этих маслах. В процессе эксперимента определены холодопроизводительность, потребляемая компрессором мощность, холодильный коэффициент, степень сжатия, температура нагнетания при различных температурах кипения рабочих тел в испарителе. Показано, что выбор марки компрессорного масла оказывает существенное влияние на эффективность компрессорной системы при различных параметрах холодильного цикла. Наличие примесей фуллерена в компрессорных маслах также имеет значительное влияние и позволяет существенно повысить холодильный коэффициент. Выполнен анализ влияния теплофизических свойств растворов R290/компрессорное масло/фуллерен C60 на параметры эффективности компрессорной системы.

Спирidonov А. Л., Беляев В. И., Бабакин Б. С. (МГУПП) в своем докладе обсудили «Применение смесевых хладагентов группы гидрофторолефинов (ГФО) в холодильных системах зарубежных торговых комплексов». Хладагенты на основе гидрофторуглеродов (ГФУ), обладая высоким потенциалом глобального потепления (GWP), оказывают негативное влияние на окружающую среду, способствуя глобальному потеплению климата планеты, что приводит к постепенному отказу от ряда хладагентов этой группы (R134a, R404A и др.).

В феврале 2019 г. крупнейшая корейская сеть гипермаркетов «E-mart» перевела холодильное оборудование на ГФО-хладагенты. Для замены классических рабочих веществ был выбран хладагент Opteon XP40 (R449A) с показателем GWP 1282. Сеть «E-mart» к 2030 г. собирается перевести на новые смесевые ГФО-хладагенты более 200 своих магазинов по всей азиатской части Тихого Океана.

В 2018 г. японская торговая сеть «Seven-Eleven» объявила о сотрудничестве с компанией «Honeywell» в рамках программы по сокращению выбросов углекислого газа в атмосферу. Магазины компании переводятся на смесевой ГФО-хладагент N40 (R448A). По предварительным испытаниям, проведенным совместно с Honeywell, было установлено, что энергопотребление установок, использующих в качестве рабочего вещества хладагент R448A, на 20% меньше по сравнению с холодильными машинами, работающими на R404A. Однако, следует отметить, что стоимость новых хладагента на базе ГФО значительно выше хладагентов группы ГФУ.

«Использование природных фреонов — реальная база для возрождения холодильной отрасли России» — доклад Мазурина И. М., Понуровской В. В. (МЭИ). В докладе рассмотрены причины кризиса холодильной отрасли России, в том числе: запреты использования хлор-

фторуглеродов (ХФУ) Монреальским протоколом 1987 г.; досрочный вывод из обращения хладагент R22; подписание России Кигалийской поправки в отношении ГФУ; ограниченный диапазон применения углеводородов и аммиака; отсутствие средств у предприятий-изготовителей на разработку новых технологий и машинного холодильного оборудования; нерешенные вопросы по безопасности аммиака и углеводородов в рамках Трудового права и поправок к Конституции РФ 2020 г.

Европейский опыт решения проблемы рабочих тел низкотемпературной техники в условиях запретов базируется на базовом документе — Регламенте ЕС № 517/14 по «парниковым фторидам». Регламент позволяет при отсутствии альтернатив запрещенным рабочим телам до появления на рынке полных альтернатив потребителю по закону пользоваться прежними хладагентами. При этом приобретение прежних рабочих веществ является проблемой пользователя. Основанием для этого служит закон о правах потребителей.

Основными условиями такой политики являются использование герметичного холодильного оборудования, полный сбор хладагентов при демонтаже холодильных аппаратов и их рециклирование для повторного применения. Выбросы в атмосферу исключаются полностью.

Для России необходимо и дальше с успехом использовать хладагент R22 в рамках европейской версии Регламента ЕС № 517, шире применять известную технологию Л. Ш. Малкина для рециклирования для пополнения запасов R22. Сырьевую базу при недостатке R22 восполнить за счет извлечения фреонов из фумарольных газов вулканов на Камчатке и Курильских островах.

Для возрождения холодильной отрасли России также необходимо:

- сохранение конституционного приоритета России в отношении обязательных к исполнению нормативных актов любого вида;
- приведение законодательных актов и ГОСТов, действующих в холодильной отрасли, в соответствие с поправками к Конституции РФ 2020 г.;
- создание государственной программы по восстановлению отечественной холодильной отрасли и государственной структуры для координации работ по ее восстановлению с опорой на отечественных специалистов-холодильщиков и специалистов по промышленной санитарии;
- избавление предприятий холодильной отрасли от излишней опеки со стороны Минприроды и ЮНИДО;
- возвращение доперестроечной системы контроля Санэпиднадзора.

«О нормативно-правовом обеспечении непрерывной холодильной цепи при обращении скоропортящейся пищевой продукции» шла речь в докладе Белозерова Г. А. (ВНИХИ) и Бабакина Б. С. (МГУПП). Холодильные технологии скоропортящихся пищевых продуктов предусматривают обеспечение холодом всего их жизненного цикла: от производства до потребления или так называемой непрерывной холодильной цепи (НХЦ).

Основными компонентами НХЦ являются:

- технологии и оборудование холодильной обработки сырья и пищевых продуктов на этапе подготовки к хранению;

— холодильные сооружения (холодильники: производственные, накопительные, распределительные), охлаждаемый транспорт (железнодорожный, автомобильный, морской, авиационный, речной), торговое холодильное оборудование (камеры, шкафы, прилавки, витрины), бытовые холодильники и морозильники;

— приборы и программное обеспечение систем контроля температуры продукта и охлаждающих сред, а также оборудование для записи «тепловой истории» продукции от производства до потребителя;

— нормативно-правовое обеспечение: федеральные законы, техрегламенты, стандарты, правила и др., определяющие принципы строения и функционирования НХЦ, требования к продукции, оборудованию, системам контроля, ответственность сторон при обращении продукции.

В этой связи предлагается внести изменения в федеральный закон № 29, в соответствующие технические регламенты по безопасности пищевых продуктов, требования по организации, функционированию, управлению холодильными цепями и разработать дополнительный нормативный документ «Правила обращения скоропортящейся охлажденной и замороженной пищевой продукции».

Возможности «Системы мониторинга состояния и термостабилизации массивов многолетнемерзлых грунтов» отметили Пушкарев А. Е. (СПбГАСУ), Ананьев В. В. (ООО «Ривсмаш»), Манвелова Н. Е. СПбГУТ, Гусаков Д. Н. (ООО «Геокриолог»). Представлена «щадящая» технология бурения для создания основной сооружений, укрепления зданий и транспортной инфраструктуры (железных и автомобильных дорог, портовых сооружений) и создания свайных полей для выполнения строительно-монтажных работ в условиях арктической зоны России. Технология основана на использовании при бурении энергии низкотемпературного сжатого воздуха, что сохраняет температурный баланс грунтов и стабильность их свойств. Предлагаемая технология позволяет значительно повысить скорость выполнения буровых работ и исключить дополнительные затраты на заморозку грунтов после выполнения буровых работ и тем самым сократить время технологического цикла. При этом значительно повышаются нагрузочные характеристики свайного основания. Предложен также комплексный метод интенсивной низкотемпературной технологии скоростного сооружения грунтобетонных конструкций совместно со встроенными в них охлаждающими устройствами — термостабилизаторами пластично-мерзлых грунтов. Укрепление неустойчивых грунтов и оснований опасных подвижных объектов происходит за счет определенного пространственного расположения термостабилизаторов, грунтоцементных элементов с добавкой в цементирующий раствор химических присадок и пластификаторов, сокращающих сроки затвердевания и позволяющих вести работы в условиях низких температур.

Предложена системы мониторинга состояния массивов многолетнемерзлых грунтов, основанная на использовании датчиков температур и деформаций с дистанционной передачей данных, позволяющая контролировать изменения устойчивости массивов и оперативно принимать технические решения по недопущению критических ситуаций.

Кириллин А. Р. (ИМЗ им. П. И. Мельникова) рассмотрел «**Особенности снегонакопления и параметры снежного покрова на Эльконском горсте**». За период 2014–2020 гг. получены новые достоверные данные об особенностях формирования снежного покрова на участке Эльконского горста среднегорной мерзлотно-таёжной области Алдано-Станового нагорья. Основным методом исследований являлись снегомерная съемка и режимные наблюдения за параметрами снежного покрова на ключевых участках. В результате проведенных исследований охарактеризован режим и выявлены особенности снегонакопления на различных элементах рельефа. Установлено, что максимальная его высота в зависимости от геоморфологических условий в пределах рассматриваемой территории изменяется от 68 до 143 см, плотность снега при этом меняется от 140 до 482 кг/м<sup>3</sup>. Основываясь на восьми основных известных из литературы эмпирических зависимостей, определены эффективные значения теплопроводности снега, которые изменяются от 0,16 до 0,44 Вт/(м·К).

В докладе Железного В. П., Ивченко Д. А. Хливой О. Я., Глек Я. О. (ОНАПТ) «**Флуктуационная модель прогнозирования теплофизических свойств (ТФС) веществ и наноплюидов**» приводится критический анализ существующих методов расчета ТФС веществ. Акцентируется внимание на общем принципиальном недостатке существующих методов расчета. Показано, что они не учитывают принципиального отличия свойств жидкостей от свойств веществ в газовой и твердой фазах, а именно, не учитывают изменение ближнего порядка (по сути структуры) жидкой фазы в широком диапазоне температур.

Предлагается анализировать изменения таких фундаментальных свойств жидкостей как флуктуации термодинамических величин и энергию активации вязкого течения. Теоретическим фундаментом такой концепции является высказанная В. К. Семенченко гипотеза об определяющей роли изменения флуктуаций на термодинамические свойства веществ. Приводится детальный анализ температурных зависимостей флуктуаций плотности, мольного объема, теплоемкости, а также энергии активации вязкостного течения для различных классов веществ.

На примере анализа температурной зависимости изотермической сжимаемости, флуктуаций плотности, объема и изобарной теплоемкости показаны возможности флуктуационной модели прогнозирования теплоемкости жидкостей на линии кипения.

Цветков О. Б., Митропов В. В. (Университет ИТМО), Просторова А. О. (СПбПУ), Лаптев Ю. А. (Университет ИТМО) сделали доклад «**Интерпретация поведения теплопроводности жидких гидрофторолефинов в регулярной области параметров состояния**».

Олефиновые углеводороды — один из перспективных продуктов нефтехимической промышленности для синтеза пластмасс, волокон, синтетических смазочных масел, других химических соединений. В XXI веке галогенопроизводные олефиновых углеводородов вошли в технику низких температур в качестве рабочих веществ, поскольку гидрофторолефины (ГФО) и гидрохлорфторолефины (ГХФО) обладают исключительно низкими

потенциалами глобального потепления. Основное внимание уделено одному из важнейших свойств рабочих веществ — коэффициенту теплопроводности как величине существенным образом определяемой характером теплового движения.

Возрастающие потребности науки и техники в рабочих веществах опережают возможности их экспериментального сопровождения. Сочетание экспериментального подхода с организующим началом теоретических исследований рассмотрено для теплопроводности олефинов в состоянии жидкости на линии фазового равновесия. Для некоторых ГФХО на основе анализа экспериментального материала и предположения о справедливости для жидкостей механизма переноса тепла посредством гипер акустических волн предложены корреляции для описания и априорных оценок теплопроводности, параметры которых получены из доступной эмпирической информации и сопоставления расчетных значений с данными экспериментов.

В докладе Серякова А. В., Алексеева А. П. (ООО «Рудетранссервис») **«Исследование коротких линейных тепловых труб с помощью решения обратной задачи теплопроводности (ОЗТ)»** представлены результаты, полученные применительно к испарителю в виде коротких линейных тепловых труб (ТТ) с выполненным в виде сопла Лавалья паровым каналом. Подобные ТТ предназначены для охлаждения космических аппаратов и спутников со строгой регламентацией взлетной массы. При математической постановке ОЗТ для ТТ в одномерной системе координат были использованы результаты исследований температуры поверхности труб, полученные методом монотонного нагрева в вакуумном адиабатическом калориметре во всем диапазоне температурных нагрузок на испаритель, а также теплового сопротивления в стационарных состояниях для этого диапазона. При малых тепловых нагрузках и линейном во времени росте температуры испарителя решено уравнение теплопроводности при монотонном нагреве. Полученные расчетные значения теплового сопротивления ТТ совпадают с опытными значениями, полученными в стационарных условиях. Теплоемкость ТТ принималась равной аддитивной сумме теплоемкостей материалов труб и теплоносителя. При больших тепловых нагрузках необходимо применять алгоритм численного решения обратной коэффицентной задачи теплопроводности ТТ, позволяющий разделять вычисления теплопроводности и теплоемкости из-за более быстрой сходимости функционалов теплоемкости по сравнению с функционалами теплопроводности.

**«Анализ перспектив применения растворов тетралин/фуллерен С60 в качестве теплоносителя в комбинированных тепловых/фотоэлектрических солнечных коллекторах»** выполнили Хлиева О. Я., Дьяченко И. А. (ОНАПТ). Приведены результаты экспериментального исследования влияния примесей фуллерена С60 (с концентрацией до 0,01 кг/кг) на теплофизические свойства тетралина в широком интервале температур, а также на коэффициент теплоотдачи при течении раствора (с концентрацией до 0,007 кг/кг) в трубе в интервале температур на входе 15–35 °С и широком интервале чисел Рейнольдса. Рассмотрено влияние фуллерена С60

на плотность, вязкость, теплопроводность и теплоемкость тетралина. Показано, что примеси фуллерена не оказывают существенного изменения интенсивности теплоотдачи, но способствуют более раннему переходу из ламинарного в турбулентный режимы. Вместе с тем измеренные зависимости спектрального показателя поглощения в интервале длин волн 260–200 нм указывают на перспективу использования растворов тетралин/С60 в качестве теплоносителя с прямым поглощением лучистой солнечной энергии. Наибольшие значения показателя поглощения для раствора С60 в тетралине лежат в интервале длин волн, который соответствует диапазону низкой чувствительности фотоэлектрических элементов. Полученные экспериментальные данные по теплофизическим свойствам и интенсивности теплоотдачи были использованы при численном моделировании процессов в плоском комбинированном фотоэлектрическом/тепловом солнечном коллекторе. Результаты при разных режимах работы показали целесообразность использования растворов тетралина с низкой концентрацией С60 (0,0005 кг/кг) в тетралине: общий КПД рассмотренного комбинированного коллектора (при разности температур между теплоносителем и окружающей средой 40 °С) составило в среднем 58%. Сделан вывод о целесообразности дальнейшего, более детального изучения перспектив применения нанотеплоносителей с прямым поглощением лучистой солнечной энергии в комбинированных коллекторах.

Серяков А. В. (ООО «Рудетранссервис») в докладе **«Исследование вихревого течения конденсирующегося пара в коротких тепловых трубах»** доложил результаты второй части компьютерных исследований вихреобразования внутри коротких линейных тепловых труб (ТТ) с паровым каналом в виде сопла Лавалья. Впервые установлено, что паровой тороидальный вихрь, возникающий в результате взаимодействия потока влажного пара с поверхностью нормально ориентированной плоской верхней крышки ТТ, может изменять направление своего вращательного движения. При малых тепловых нагрузках и небольшом температурном напоре на испаритель направление вращения парового вихря за счет эффекта Коанда и прилипания движущихся струй пара к стенкам канала происходит от периферии к продольной оси. При этом направление радиального течения пленки конденсата по верхней крышке к расположенной на стенках канала капиллярно-пористой вставке и направление движения прилегающих слоев парового вихря оказываются встречными. Паровой вихрь замедляет течение пленки конденсата по верхней крышке ТТ и, тем самым, увеличивает ее эффективную толщину.

При увеличении тепловой нагрузки направление вращения парового вихря изменяется на противоположное (от продольной оси к периферии парового канала), и направления вращения прилегающих слоев пара и течения пленки жидкого конденсата становится спутными, что приводит к резкому уменьшению эффективной толщины пленки.

Экспериментальные результаты измерений толщины пленки жидкого конденсата, полученные с помощью емкостных датчиков, также указывают на резкое уменьшение ее толщины при увеличении температурного на-

пора, что может быть косвенным подтверждением изменения направления вращения парового вихря.

**«Механизм общего охлаждения человека и животных при воздействии естественно низких температур»** — доклад Алексева Р. З. (ЯНЦ КМП), Иванова В. А., Большева К. Н., Андреева А. С. (ИФТПС), Нифонтова К. Р., Стручкова Н. А. (Арктический ГТУ). Изучение действия естественно низких температур на организмы человека и животных представляет интерес для врачей-клиницистов, оказывающих медицинскую помощь лицам, подвергшимся переохлаждению. В настоящее время в мире не изучены вопросы смерти от общего охлаждения в условиях естественно низких температур (ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Возможности возвращения к жизни после замерзания не только не изучены, но даже и не предполагаются, хотя имеются очень ценные научные данные о возвращении к жизни отдельных органов после глубокой гипотермии, включая головной мозг. Для установления характера реакций на термические раздражения были установлены специальные логгеры внутри желудка двум спортсменам, плывшим от острова Ратманова (Россия) до острова Малый Диомид (США). Полученные результаты показывают очень резкие изменения температуры поверхностных слоев тела человека. При этом наблюдалось относительно плавное уменьшение температуры «ядра» желудка.

С целью определения состояния мозга при замерзании и механизма развития охлаждения проведены эксперименты на собаках вплоть до развития смертельной гипотермии с измерением температуры в желудке, прямой кишке, пищеводе и мышцах. В последующем проводилась реанимация организма с целью восстановления деятельности сердца и мозга.

Одной из особенностей холодовой травмы является прижизненное оледенение тканей, температура тканей при этом может достигать до  $-38,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хотя данный факт до недавнего времени отрицался. Отморожение с оледенением тканей относится к наиболее тяжелым видам холодовой травмы, которое требует особой лечебной тактики. Данный вопрос обсуждается в течение нескольких десятилетий и окончательного решения, у некоторых клиницистов не найден. Ведь от этого зависит способ оказания первой помощи, и первой медицинской и врачебной помощи, которая является самым решающим в лечении и определяющим исход лечения. Проблема консервативного лечения отморожений в дореактивном периоде, а тем более с оледенением тканей до настоящего времени содержит значительное количество дискуссионных вопросов и сохраняет актуальность.

**«Роль теплоты в биологических системах человека»** — тема сообщения Закировой А. И. и Митропова В. В. (Университет ИТМО). Организм животных и человека — это энергетическая система, в которой за счет окисления пищевых продуктов преобразуются различные виды энергии. В организме также происходит преобразование внутренней энергии пищи в другие виды энергии, например, в механическую и в энергию теплового движения частиц организма. Механическая энергия расходуется на всевозможные виды движения организма и совершаемую им работу. Теплота необходима для поддержания нормальной жизнедеятельности организма

и на компенсацию непрерывного теплообмена с окружающей средой. Энергетическая ценность (калорийность) составных частей пищи, определенная калориметрическим способом, в среднем составила для углеводов и белков порядка  $17\text{ кДж/кг}$ , для жиров — около  $40\text{ кДж/кг}$  (белки при полном сгорании дают более  $22\text{ кДж/кг}$ , но в организме они окисляются не полностью).

Совокупность процессов, обеспечивающих постоянную температуру тела у теплокровных животных и человека, называется терморегуляцией. Терморегуляция обеспечивается целым рядом физиологических механизмов, регулирующих, с одной стороны, производство теплоты внутри организма, с другой — теплоотдачу в окружающую среду. Выдыхаемый воздух имеет температуру  $31\text{--}33\text{ }^{\circ}\text{C}$  и насыщен водяным паром ( $35\text{ мг/л}$ ). В среднем в сутки человек выдыхает  $275\text{--}300\text{ г}$  водяного пара, на испарение которого затрачивается  $600\text{--}800\text{ кДж}$ . При мышечной работе эти значения значительно повышаются. С поверхности кожи в средних условиях в сутки испаряется в среднем  $600\text{ г}$  пота, что дает потерю тепла еще в  $900\text{--}2200\text{ кДж}$  в сутки. Эти данные относятся к нормальному потоотделению при температуре окружающей среды  $16\text{--}18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При повышении температуры или при интенсивной мышечной работе оно значительно возрастает и становится главным источником теплоотдачи.

В докладе Симанкова Д. С. (МАИ) рассматривается **«Метод измерения тепловой активности верхнего слоя кожи человека и расчетный метод определения температуры на ее поверхности при кратковременных касаниях»**. Для поверхностного слоя кожи человека отсутствуют температурные и антропометрические зависимости теплофизических свойств, необходимые для расчета температуры на поверхности кожи при кратковременных контактах с телами окружающей среды. Для сокращения времени проведения эксперимента необходимы новые математические модели, учитывающие особенности слоев кожи и позволяющие получать теплофизические характеристики (ТФХ) в результате эксперимента. Цель работы — найти простой экспериментальный метод измерения ТФХ кожи человека. На основе полученных данных предстоит решить практические задачи описания процесса кратковременного локального касания горячих предметов тела человека в разных его местах, а именно: определение времени и температуры, при которых происходит термический ожог кожи и расчет зоны комфорта для человека.

Первая задача по расчету критической температуры была решена путем новой модифицированной комбинированной математической модели состояния эпидермиса с учетом его влагосодержание. Предложена модельная задача с аналитическим решением соприкосновения двух неизотермических тел, одно из которых имеет покрытие конечного размера, способное защитить кожу человека от термического ожога. Для решения экспериментальной задачи рекомендован метод иррегулярного теплового режима (метод «горячей нити») с единичным прямоугольным импульсом тока на плоском датчике с разными временами разогрева для различных слоев кожи.

В докладе Ле Куок Фам, Соловьевой А. Ю., Олехнович Р. О. и Успенской М. В. (Университет ИТМО) рассмотрены **«Перспективы использования ПВХ-наново-**

**локон для сорбции нефти при низких температурах».** В настоящее время существенно увеличивается спрос на нефть и газ, при этом расширяется добыча нефти в районах с очень низкими температурами, такими как Арктика, Сибирь, Дальний Восток. В процессе добычи, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов не исключено их попадание в окружающую среду. После разливов необходимо быстро их ликвидировать, чтобы минимизировать негативное воздействие на экосистему данного района. В мире разрабатываются материалы и методы для эффективной ликвидации разливов нефти, особенно для регионов с низкой температурой. В таких регионах разливы нефти могут происходить как на поверхности воды и льда, так и внутри льда. Следует учитывать, что при отрицательных температурах повышается вязкость нефти и нефтепродуктов, что существенно затрудняет процесс их сбора.

Существуют различные методы извлечения нефти из воды: использование механических устройств, применение сорбентов, использование микроорганизмов и сжигание нефти. Каждый метод применяется в различных условиях, но доказано, что применение сорбентов является наиболее эффективным при ликвидации разливов нефти. Полимерные нановолокна представляют собой новое поколение сорбентов, которое потенциально может использоваться для решения этой проблемы.

В настоящей работе, методом электроформования были получены нановолокнистые маты на основе поливинилхлорида (ПВХ). При подготовке раствора использованы композиционный порошок из ПВХ, тетрагидрофуран и диметилформамид. Для оценки нефтесорбционной способности были выбраны четыре типа нефтепродуктов с различной вязкостью: моторное масло, гидравлическое масло, сырые нефти Царичанско-Филатовского и Холмистного месторождений. Результаты исследований показали, что нефтесорбционная емкость ПВХ-нановолокон за 2 часа поглощения для моторного масла, гидравлического масла, царичанско-филатовской и холмистой сырой нефти составляет 38, 24, 18, и 16 г/г (нефть/нановолокно), соответственно.

Была исследована зависимость вязкости нефти и нефтесорбционная емкость ПВХ-нановолокон от температуры в диапазоне от  $-5$  до  $25$  °С с шагом  $5$  °С. Результат исследования показали, что чем ниже температура среды, тем выше нефтесорбционная емкость нановолокон. Показано, что ПВХ-нановолокна обладают высокой скоростью и селективностью сорбции нефти из воды при низких температурах, что позволяет их с успехом применять в северных районах.

Кузнецов П. А., Просторова А. О., Третьяков В. П. (СПбПУ) предложили **«Прессование биметаллических спеченных деталей сложной формы для компрессоров и тепловых насосов».** В серийном и массовом производстве при изготовлении конструкционных деталей становится конкурентноспособной технология порошковой металлургии благодаря высокому коэффициенту использования материала и низкой трудоемкости. Особое место здесь занимают биметаллические детали сложной формы, часто используемые в подшипниковых элементах конструкций, работающих в условиях низких температур. У этих деталей только рабочий слой, подвергаемый экс-

плуатационным воздействиям, изготавливается из материала со специальными свойствами, а основа детали делается из более простого и дешевого материала.

Наиболее эффективным процессом прессования биметаллических деталей является прессование в жесткой пресс-форме. При этом особый интерес вызывает комбинированное прессование и спекание, включающее прессование рабочего элемента биметаллического изделия и его спекание при требуемой температуре, а также последующее совместное прессование рабочего элемента с порошком основы и совместное спекание изделия при температурном режиме, обеспечивающем требуемые свойства основы и высокую адгезию слоев.

Комбинированная технология обладает более широкими технологическими возможностями прессования биметаллических деталей по сравнению с другими вариантами изготовления. В частности, температурные интервалы режимов спекания порошков уже не зависят друг от друга, поэтому можно изготавливать биметаллические детали из материалов с различными температурами спекания. Благодаря предварительной готовности одного из слоев биметаллического изделия заданной формы становится возможным получение биметаллических деталей сложной формы и высокой плотности с требуемыми технологическими характеристиками.

**«Одноосное растяжение образцов из малоэластичных материалов для деталей низкотемпературных установок»** обсуждается в докладе Кузнецова П. А., Просторовой А. О., Гоциридзе А. В. (СПбПУ). Знание физико-механических свойств материалов деталей механизмов, работающих в условиях низких температур, позволяет проектировать конструкции оптимальной формы, снижая их металлоемкость и максимально используя свойства материалов. Важной характеристикой для материалов конструкций являются пределы прочности и текучести при растяжении. Трубчатые детали, нагруженные внутренним давлением жидкости или газа, подвергаются именно растяжению, однако испытания «на сплющивание» (ГОСТ 8695–75) позволяют получить лишь приближенное значение характеристики и не могут применяться для точных расчетов. Для испытания только пластичных материалов применяют растяжение кольцевых образцов на полудисковых оправках, для малоэластичных — проводят испытания кольцевых образцов при нагружении внутренним давлением жидкости (ГОСТ 3845-75).

В качестве оправки, помещаемой внутри образца, используется цилиндр из эластичного материала (полиуретана) с надетым на него сменным кольцом также из эластичного материала. Особенностью предлагаемой методики является размещение эластичного кольца с надетым на него образцом в зазоре между матрицами с цилиндрическими отверстиями, соответствующими диаметру эластичного цилиндра. Величина зазора равна высоте образца и обеспечивается использованием мерных пластин между матрицами, которые предотвращают затекание полиуретана на торцевые поверхности и искажение формы образца. Сменное эластичное кольцо позволяет испытывать образцы разного диаметра. Предложенная методика обеспечивает простоту проведения испытаний и хорошую воспроизводимость результатов.

В докладе Насруллоева Ф. Х. (ЦИЛ НАНТ) рассмотрены «**Экологические аспекты и проблемы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ-2 города Душанбе**». В Таджикистане, кроме водных ресурсов, одним из ведущих энергоносителей является уголь. Республика по последним геологическим изысканиям обладает около 40 месторождениями угля с запасом 4,3 млрд тонн нескольких видов твердого топлива: бурый уголь, каменный уголь, коксующийся уголь, антрацит. По данным Министерства промышленности и новых технологий, запасов угля достаточно не только для долгосрочного обеспечения топливно-энергетического комплекса республики, но и для использования угля в качестве сырья для химической промышленности.

Важным резервом повышения эффективности производства тепловой энергии на угольных ТЭЦ является утилизация отходов сжигания углей. При сжигании твердого топлива в топках ТЭЦ возникают многотонные твердые роггитовые остатки в виде шлаков и нестойкой золы. Складирование и хранение такой массы материала требует значительных капиталовложений, в частности, на Душанбинской ТЭЦ-2 с 2014 г. накоплено около

500 тыс. тонн золошлаковых отходов с их ежегодным увеличением на 200–250 тыс. тонн. Золоотвал занимает более 4 гектаров земельной площади, являясь источником неблагоприятной экологической обстановки в районе. Зола-уноса и золошлаковые отходы могут быть использованы в качестве вяжущих материалов и активной добавки при производстве керамического и силикатного кирпича, бетонов, строительных растворов, сухих строительных смесей и других строительных материалов. Также шлаки могут применяться в качестве крупных и мелких заполнителей тяжелых и легких бетонов, используемых при устройстве верхних и нижних слоев оснований дорог.

Председатель Рабочей группы «Свойства хладагентов и теплоносителей» Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН и секции «Теоретические основы холодильной и криогенной техники» Международной академии холода — Цветков О. Б. информировал собравшихся о деятельности Рабочей группы в 2020 г., планах работы на 2021 г., а также о тематике предстоящей научно-технической конференции в начале 2022 г. в Санкт-Петербурге.

*Председатель Рабочей группы  
«Свойства хладагентов и теплоносителей»  
академик МАХ Цветков О. Б.,  
ученый секретарь Рабочей группы  
академик МАХ Лантев Ю. А.*



## К 100-летию со дня рождения профессора Эдуарда Иосифовича Гуйго

20 апреля 2021 г. исполняется 100 лет со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора, почетного академика Международной академии холода Гуйго Эдуарда Иосифовича.

Эдуард Иосифович вместе с профессором

Каухчешвили Э. И. из Московского мясомолочного института создали в СССР новое научное направление «Сублимационная сушка в пищевой промышленности». Первые, созданные в СССР сублимированные продукты начал производить в 60-х годах прошлого века Ленинградский мясокомбинат им. С. М. Кирова. Вскоре эти продукты оказались в рационе российских космонавтов, что позволило решить актуальнейшую задачу питания в космическом пространстве.

Гуйго Э. И. — выпускник Ленинградского технологического института холодильной промышленности (ЛТИХП). Он поступил в ЛТИХП в 1938 г., а в 1941 в июле добровольцем ушел в дивизию народного ополчения. Награжден орденом Отечественной войны II степени и медалями. В 1945 г. вернулся в родной ЛТИХП, закончил его в 1947 г.

В дальнейшем вся активная научно-педагогическая деятельность Гуйго была связана с ЛТИХП. Он занимал в институте многие административные должности, автор более 150 научных статей, официально зарегистрировал в СССР учебники по термодинамике и теплообмену, монографии по сублимационной сушке и аппаратурным методам ее реализации, подготовил 12 кандидатов наук.

Имя Эдуарда Иосифовича Гуйго — выдающегося ученого, пламенного патриота навсегда останется в памяти его коллег, учеников, тех, кому посчастливилось работать и встречаться с ним. Для молодежи он является примером любви к Родине и служения на благо отечества.

*Бараненко А. В., Цветков О. Б., Малышев А. А.,  
Сосунов С. А., Лантев Ю. А., Митропов В. В.,  
Клюева Р. В., Федоров В. Н.*