

# ПОСТ-РЕЛИЗ

## Научно-технической конференции с международным участием «Аскеза природных хладагентов в условиях доминирующей неоклиматической реальности»

26 января 2023 г. в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете ИТМО (Университет ИТМО) в образовательном центре «Энергоэффективные инженерные системы» состоялась научно-техническая конференция с международным участием «Аскеза природных хладагентов в условиях доминирующей неоклиматической реальности». Организаторы конференции: Международная академия холода (МАХ), Университет ИТМО, Рабочая группа «Свойства хладагентов и теплоносителей» Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН. Информационную поддержку осуществляли журналы: «Вестник Международной академии холода», «Империя холода», «Холодильная техника», интернет-порталы «Holodinfo.ru», «Академия КриоФрост».

В конференции участвовали: Казахский национальный университет им. Аль Фараби, Алматы; Академия вооруженных сил Республики Союз Мьянма; Российский союз предприятий холодильной промышленности (Россоюзхолодпром); Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова; Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина, Москва; редакция журнала «Холодильная техника», Москва; Московский государственный университет технологий и управления им К. Г. Разумовского (Первый казачий университет); ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва; ООО «НТЦ «КриоНекс», Москва; Калининградский государственный технический университет; Астраханский государственный технический университет; ООО «Тепловые насосы», Красноярск; Акционерное общество «Восход» — Калужский радиоламповый завод; ООО «ПКФ «ВладХладСбыт-ДВ», Владивосток; ООО «НПП «Синтез», Пермь; ООО «Рудетранссервис», Великий Новгород; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого; ООО «Ридан», Санкт-Петербург; преподаватели, научные сотрудники, аспиранты, магистранты и бакалавры старших курсов Университета ИТМО, Санкт-Петербург.

Выступая с приветственным словом, руководитель образовательного центра «Энергоэффективные инженерные системы» Университета ИТМО профессор Баранов И. В. подчеркнул особую важность и актуальность обсуждаемых на конференции энергетических и экологических проблем, связанных с техникой низких температур, играющих стратегическую роль в мировой экономике, и пожелал участникам плодотворной работы, профессиональных успехов, здоровья и благополучия.

Открыл конференцию доклад Цветкова О. Б., Лаптева Ю. А., Митропова В. В. (Университет ИТМО) «Сорок лет о мире холода с гордостью и оптимизмом». Конференция посвящена актуальным вопросам экологической безопасности и сегодня открывает плеяду меж-

дународных конференций 2023 года, связанных с использованием рабочих тел техники низких температур с ресурсом более миллиарда домашних холодильников, сотен миллионов систем кондиционирования воздуха и тепловых насосов, органических циклов Ренкина, промышленных холодильников, криолитзон, тепловых труб, низкотемпературных установок, криотерапевтических систем. Эту тематику продолжат в апреле этого года на конференции в Шанхае по синтетическим хладагентам, на X-й конференции в Македонии по природным рабочим веществам, на академический чтениях в рамках XXX (юбилейного) годичного собрания Международной академии холода (МАХ) в Санкт-Петербурге 20 апреля 2023 г., а в августе 2023 г. эта тематика в центре внимания XXVI всемирного конгресса по холоду в Париже, и, особо, в ноябре 2023 г. — в ОАЕ на Климатическом саммите (COP28).

В Санкт-Петербурге конференция традиционно проходит с 1983 г. — сорок лет! Подобный феномен был бы невозможен без реальной стартовой поддержки АН СССР и РАН, академиком Фортова В. Е., Глебова И. Н., Фокина Л. Р., ректора ЛТИХП Орехова И. И., выдающихся деятелей российской науки Сычева В. В., Архарова А. М., Иванова Б. А., Кузьмина М. П., главного редактора журнала «Холодильная техника» Акимовой Л. Д., ректората Университета ИТМО, журналов «Вестник МАХ» и «Империя холода». Сформировался и профессиональный фундамент, без которого успех подобных конференций был бы невозможен: Лаптев Ю. А. (ученый секретарь), Бабакин Б. С., Ананьев В. В., Серяков А. В., Бирин С. А., Галимова Л. В., Тарзиманов А. А., Рогов И. А., Григорьев Б. А., Сапожников С. З., Колодязная В. С., Кипрушкина Е. И., Митяков В. Ю., Тимофеев Б. Д., Цветков О. Б. (председатель Рабочей группы), Бараненко А. В., Комаров И. А., энтузиасты из Прибалтики, Болгарии, Мьянмы, Эритреи, Германии, Франции, Казахстана, Беларуси и др. В центре внимания — императивы времени и практически всегда всемирные форумы, обсуждавшие судьбоносные аспекты климатического Олимпа — исторический Монреальский протокол 1987 г., первый климатический саммит в Рио-де-Жанейро 1992 г., Протокол Киото 1997 г., Парижские соглашения 2015 г., Кигалийские поправки 2016 г. и др.

Наши перспективы — непредсказуемый XXI век и реальные надежды на талантливых представителей холодильной диаспоры, способных решать проблемы неоклиматической реальности и индустрии холода в целом.

По мнению авторов доклада «Новое фундаментальное уравнение состояния циклопропана (RC270)» Берковой Е. А., Александрова И. С., Герасимова А. А. (Калининградский ГТУ) и Григорьева Б. А. (РГУ нефти

и газа им. И. М. Губкина), циклопропан, один из важнейших углеводородов и природный озонобезопасный хладагент, экспериментально исследован в широком диапазоне температур и давлений, что позволяет разработать новое фундаментальное уравнение состояния данного вещества. Для циклопропана известно старое уравнение состояния Бендера, используемое программным обеспечением Refprop (NIST, USA). Появились новые прецизионные данные о термодинамических свойствах циклопропана, а совершенствование методов разработки уравнений состояния инициируют продолжение исследований в этой области.

Получено новое фундаментальное уравнение состояния, описывающее безразмерную удельную энергию Гельмгольца и имеющее оптимизированную 14-константную форму, применимую как для полярных, так и для неполярных и слабо полярных веществ. Показатели степени и коэффициенты при температуре оптимизированы в процессе нелинейной итерационной процедуры, основанной на методе случайного поиска. Для разработки уравнения использовались экспериментальные PVT-данные, данные о давлении насыщенных паров, плотности насыщенной жидкости, изобарной теплоемкости и скорости звука RC270. Новое уравнение удовлетворяет критическим условиям и правилу Максвелла, позволяя рассчитывать все термодинамические свойства, включая фазовые равновесия в диапазоне температур от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа, корректно описывает ход идеальных кривых. Представлены погрешности в описании термодинамических свойств, а также результаты сравнения с опубликованными в литературе данными, полученными по конкурентным уравнениям состояния. Показано, что предложенное новое фундаментальное уравнение имеет более высокую точность и корректно воспроизводит термодинамическую поверхность циклопропана.

**«Проблемы круглогодичной термостабилизации грунтовых оснований в криолитозоне с учетом глобального изменения климата»** обсуждаются в докладе Ананьева В. В., Комарова И. А., Исаева В. С., Шевчика Ф. А. (МГУ им. М. В. Ломоносова). Термостабилизация грунтов оснований сооружений при строительстве в криолитозоне с сохранением мерзлого состояния грунтов — основной метод обеспечения несущей способности грунтов с использованием хладопотенциала атмосферного воздуха на базе сезонных охлаждающих устройств (СОУ) либо с использованием методов принудительной вентиляции (проветриваемые подполья). Подобные решения в условиях глобального изменения климата, интенсивность которого особенно резко проявляется в арктических регионах, поскольку эти регионы нагреваются почти в два раза быстрее, чем остальные регионы умеренных широт и показывают наиболее выраженные изменения температуры воздуха в холодный период, не обеспечивают надежность грунтовых оснований для объектов инфраструктуры предприятий топливно-энергетического комплекса, промышленного, гражданского и транспортного строительства, при принятии проектных решений и эксплуатационных регламентов.

Перспективным решением проблемы повышения надежности круглогодичного функционирования грун-

товых оснований на мерзлых грунтах (в особенности на пластично-мерзлых и сильнозасоленных) является: комплексное использование СОУ с контуром машинного охлаждения, включающимся в теплый сезон; трехконтурная система всепогодной термостабилизации (СВТ), позволяющая полностью устранить межсезонные паузы в работе устройств; использование низкотемпературных методов термостабилизации (замораживание и охлаждение жидким азотом) и т. д. Система СВТ и низкотемпературные технологии целесообразны для поддержания или повышения несущей способности фундаментов даже непосредственно в процессе эксплуатации разнообразных инженерных сооружений (проветриваемые подполья зданий с установленными в них СОУ и т. д.). Замораживание и охлаждение жидким азотом эффективно при локализации форсмажорных ситуаций (быстрое замораживание линз криопэггов, различных водоотковок и т. д.).

Для наблюдения за температурным режимом грунтов на базе полигона кафедры геоэкологии МГУ им. М. В. Ломоносова создано три научно-исследовательских площадки, оборудованных стендами с четырьмя индивидуальными СОУ с различными хладагентами (фреон, аммиак, углекислый газ) вертикального типа, а также установками (их четыре) трехконтурной всепогодной системы термостабилизации грунтов (прототип СВТ ООО «МобиДик», г. Курган), состоящей из четырех вертикальных термостабилизаторов с различными хладагентами (фреон, CO<sub>2</sub>), подключенными к холодильному агрегату. Глубина погружения испарительной части вертикальных термостабилизаторов составляет 7 м, высота конденсаторной части — 1,5 м. Для контроля работоспособности термостабилизаторов используются 12 термометрических скважин, глубина которых равна глубине погружения испарительной части термостабилизаторов. Наблюдения осуществляются посредством системы мониторинга, разработанной ООО «РУСГЕОТЕХ». Программно-аппаратный комплекс позволяет в автоматизированном режиме следить за состоянием температуры грунтов. Система состоит из термометрического оборудования (цифровые термокосы), устройств для сбора и передачи данных по беспроводным технологиям (логгеры) и программного обеспечения для организации единой базы данных температурных наблюдений.

Для долгосрочного прогноза изменений температурного режима мерзлых пород, формирующегося под влиянием работы термостабилизаторов и климатических изменений, используется алгоритм реализации краевой задачи теплопроводности с принятым сценарием изменений температуры среды. Авторы используют подход, основанный на анализе результатов многолетних наблюдений на метеостанциях. В основе лежит выявление цикличности и выделение разнопериодных колебаний разного генезиса. Совокупность ритмов, накладывающихся друг на друга, с различными периодами, амплитудами и сдвигами фаз определяют ход рассматриваемого параметра. На основе гармонического анализа данных метеонаблюдений предложена методика авторетроспективного анализа. По этой методике предложено выделить рубежный год, после которого начинается устойчивое изменение температуры воздуха и затем

определить скорость этого процесса. Метод базируется исключительно на данных инструментальных наблюдений, проведенных с высокой частотой по единой методике.

В докладе Комарова И. А., Ананьева В. В., Бека Д. Д. (МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва) оценено **«Использование хладоресурса сжиженного природного газа для целей термостабилизации грунтов оснований резервуаров СПГ»**. Представляется перспективной для решения проблем повышения надежности круглогодичного функционирования оснований резервуаров хранения сжиженного природного газа (СПГ) на пластично-мерзлых и засоленных грунтах низкотемпературная термостабилизация за счет хладоресурса жидкого азота, а также самого СПГ. Технологическая норма хранения СПГ в резервуарах оценивается значением суточной испаряемости как 0,1% от массы сжиженного газа в одном резервуаре. Предлагается использовать этот газ, который затем утилизируется путем последующего сжатия и сжижения, для целей термостабилизации грунтов. Предлагаемое решение позволяет: обеспечить надежную круглогодичную эксплуатацию сооружения; задать высокий темп промораживания грунта, который минимизирует эффект пучения; проморозить линзы криопэгов любых концентраций и ликвидировать форсмажорные ситуации.

Однако очевидные плюсы использования СПГ в качестве хладагента могут инициировать и негативные процессы: трещинообразование на границе стенка термостабилизатора — грунт, связанное с возникновением больших градиентов температуры (тепловой удар), морозобойные растрескивания грунта в междувальном пространстве. Актуальна оценка оптимальной величины входной в термостабилизатор температуры газа и конструктивных решений с целью недопущения (минимизации) процессов трещинообразования. В докладе приведены результаты математического моделирования температурного и водно-солевого режима грунтов оснований при наличии в разрезе линз талых грунтов и криопэгов, оценивается скорость их промораживания при различных температурах хладагента.

«Экологически безопасный многоцелевой мобильный микрохолодильник для сельских районов Мьянмы» описан в докладе Ай Тун, Сан Линн (Академия вооруженных сил, Мьянма). Мьянма (Бирма) — страна в Юго-Восточной Азии. В сельских районах Мьянмы основным транспортным средством является мотоцикл. Снабжение электричеством осуществляется с помощью солнечных батарей и электрогенераторов. Системы искусственного охлаждения, хранения и перевозки вакцин, лекарств, напитков, сельхозпродукции отсутствуют. Для этих целей используются термоконтейнеры, в том числе — пенопластовые.

Работа посвящена созданию и исследованию эксплуатации транспортного охладителя. Система охлаждения, естественно, требует экологичности, малого энергопотребления и низкой стоимости. В качестве охладителя предлагается термоэлектрическая батарея. Создание охладителя включает в себя четыре этапа: проектирование, расчет нагрузок, эксперимент и изготовление. Охладитель разработан на базе 3D-модели с помощью программного обеспечения Sketchup. Внешние и внутренние

размер камеры охлаждения составили соответственно 16,51×13,97×22,86 см и 12,31×9,77×18,7 см. Расчет охладителя состоял из пяти видов расчетов: тепловой нагрузки, времени охлаждения, мощности ТЭМ, мощности батареи и холодильного коэффициента (COP). Тепловая нагрузка состоит из пассивной и активной составляющих. В активную тепловую нагрузку входит теплопередача по элементам конструкции охладителя и радиационная составляющая. Пассивная тепловая нагрузка состоит из тепловой нагрузки продукта и контейнера. В конструкцию охладителя входит: лист цинка, лист полистирола, алюминиевая наклейка, модуль Пельтье (TEC1-12705), радиаторы и вентиляторы горячей и холодной сторон, электрические провода, выключатель и блок питания. Охладитель тестировался в незаполненном состоянии при температурах от 25 до 3,9 °С в течение 17 мин при комнатной температуре. При температуре окружающей среды охладитель снижал температуру с 30 до 10 °С за 15 мин и с 27 до 5,1 °С за 35 мин. Охладитель обеспечивал перевозку или хранения 150 доз вакцины COVID-19, или 2 пакетов с кровью объемом 330 мл, или 2 кг фруктов, или 1 литр напитков. Охладитель удобен в использовании в сельских районах Мьянмы, имеет малый вес, низкую стоимость, обеспечил энергоэффективность, экологическую безопасность и высокую востребованность.

В докладе Кожухова Ю. В. (Университет ИТМО) рассмотрена **«Методология газодинамического проектирования центробежных компрессоров для парниковых газов в задачах декарбонизации в топливно-энергетическом комплексе»**. В таких задачах используются центробежные компрессоры для компримирования парниковых газов: диоксид углерода, углеводородные газы (метан, природный газ, попутный нефтяной газ), метано-водородная смесь, водород (как сырье водородной энергетики). Научная проблематика состоит в разработке методологических основ газодинамического проектирования центробежных компрессоров для парниковых газов в задачах декарбонизации в топливно-энергетическом комплексе.

Рассмотренная методология газодинамического проектирования центробежных компрессоров для парниковых газов в задачах декарбонизации позволяет учитывать: реальные свойства смеси газов, аэродинамические характеристики всех элементов проточной части, тепловые процессы в центробежном компрессоре, деформации и их влияние на рабочие параметры компрессоров, статическую прочность элементов проточной части, динамику роторов центробежных компрессоров.

В докладе Москаленко А. С., Самвелова А. В. Либкинда И. В., Лобашова А. В. (АО «Восход» — Калужский радиоламповый завод, ООО «НТЦ «КриоНекс») предложен **«Метод термовакуумной обработки фруктов»**. Основная задача при заготовке фруктов — максимальная сохранность их органолептических и целебных свойств в технологических процессах подготовки и обработки с целью консервации и длительного хранения. Современные методы заготовки плодов: сублимационная, конвективная и кондуктивная сушки, обработка ИК-излучением и электрическим полем токов ТВЧ, а также кондиционированным в испарителе холодильной системы

воздухом сопровождаются снижением содержания витаминов и наличием остаточных бактерий в анабиозном состоянии.

Данный метод включает две стадии: формирование ломтиков в среде сухого подогретого азота и вакуумирование с прогревом. Организация среды сухого азота необходима для исключения окисления при нарезке. Избыточное давление азота — 0,2 МПа при температуре около 300 К. Основным этапом обработки продукта, предназначенного для хранения, является вакуумирование при вакууме не выше 100 Па и температуре прогрева 320 К.

Бланширование ломтиков сухим подогретым азотом предохраняет продукт от окисления с образованием нежелательных для организма ионов железа  $Fe^{3+}$  и не влияет на распад кислот и витаминов, поскольку плоды произрастают практически в среде азота, которого в воздухе и почве около 80%. Нагрев до температуры 320 К также не вызывает разложения витаминов, поскольку такие температуры в природе свойственны при развитии культур. Вакуум среднего уровня (до 100 Па) также не снижает питательных свойств фруктов, а развитие в сухом продукте анаэробных бактерий предотвращает прогрев до температур 320 К.

В качестве альтернативы существующим современным установкам заготовки плодов коллективом АО «Восход» разработана установка термовакуумной обработки (УТВО) фруктов.

Энергопотребление рабочего макета УТВО — 15 кВт, в отличие от 22 кВт потребляемой мощности принятой для примера ТНСУ (сушка кондиционированным воздухом). Выход сухого продукта у рабочего макета УТВО — 60 кг/сут. В продуктах, полученных с использованием метода термовакуумной обработки фруктов, исключается наличие остаточных бактерий различного происхождения и природы: анаэробных, гнилостных и других факультативных бактерий.

В докладе Галимовой Л. В., Семенова А. Е., Лувама Д. Г. (Астраханский ГТУ) выполнен «**Анализ энергетической эффективности схем кондиционирования воздуха для условий аридного климата (страна Эритрея)**». В развивающихся жарких странах все более острой становится проблема комфортного кондиционирования воздуха. Важнейшим требованием к техническим системам является их энергоэффективность. Сложные климатические условия Эритреи определили выбор специальной комбинированной экологически чистой системы кондиционирования воздуха. Для решения вопроса о выборе систем кондиционирования воздуха и холодильных систем проведен анализ шести различных систем кондиционирования воздуха, результаты которого показывают значительную экономию энергии при использовании существующих эффективных систем рециркуляции и утилизации теплоты удаляемого воздуха.

Исходные данные для анализа: температура наружного воздуха 36,6 °С, относительная влажность наружного воздуха 80%, температура в помещении 25 °С, относительная влажность в помещении 50%, угловой коэффициент 15000, теплоприток в помещение 40 кВт, расход наружного воздуха в центральном кондиционере 1500 м<sup>3</sup>/ч, рабочее вещество — хладагент 410А, темпе-

ратура конденсации 55 °С, температура кипения 7 °С. При применении системы VRF и роторного регенератора в приточно-вытяжной системе установленная холодильная мощность немного увеличивается по сравнению со схемой с центральным кондиционером с рециркуляцией и роторным регенератором с 59,2 до 60,78 кВт (на 2,5%), а общая потребляемая мощность снижается с 32,31 до 27,29 кВт (на 18,3%), причем габариты приточной системы и размеры воздуховодов тоже уменьшаются и значительно, так как расход воздуха из центрального кондиционера возрастает в 14 раз.

При раздельном исполнении приточной и вытяжной вентиляции можно использовать схему с тепловыми насосами. При этом уменьшается потребление энергии на 3,6% по сравнению со схемой с VRF и роторным регенератором в приточно-вытяжной системе, но увеличивается установленная холодильная мощность на 17,6%.

Приведенная методика и анализ различных схем систем кондиционирования позволяют выбрать для климатических условий стран с аридным климатом наиболее перспективную систему кондиционирования воздуха.

Доклад «**ИК-спектроскопическое исследование стеклообразных состояний криовакуумных конденсатов органических веществ**» представили Асан Б. Б., Алдияров А. У., Ережеп Д. (Казахский НУ). Для проведения подобного исследования необходимо знать метод низкотемпературного стеклования веществ. Как известно, при достижении определенной температуры некоторые физические характеристики жидкости резко меняются, при этом жидкость переходит в стеклообразное состояние. В настоящей работе исследуемое вещество — этанол. Тонкие пленки криовакуумных конденсатов этанола, образующиеся при конденсации охлажденного газа на металлической подложке, изучались методами инфракрасной спектроскопии и термической десорбции. Основной целью работы было изучение динамических релаксационных процессов вблизи температуры стеклования и рассмотрение перехода от ориентационно неупорядоченного к упорядоченному состоянию в тонких пленках криоконденсата этанола. Оболочки криоконденсата этанола переходят в аморфное состояние при 16 К (ASE). Повышение температуры до 80 К приводит к трансформации структурного стекла ASE. При дальнейшем нагревании до 97 К структурное стекло превращается в сильно охлажденную жидкость, а при 105 К образуется пластичный кристалл. Полученные результаты позволяют утверждать, что с помощью ИК-спектроскопии можно получить надежные результаты при исследовании стеклообразных состояний криовакуумных конденсатов органических веществ.

Доклад Акылбаевой А. К., Ережепа Д., Соколова Д. Ю., Алдиярова А. У., Голникова О. Ю. (Казахский НУ) посвящен «**Анализу дооснащения универсальной вакуумной криогенной установки**». Для физического моделирования космического пространства требуется постоянное совершенствование и модернизация имеющегося научно-испытательного оборудования криофизики, криотехники и криотехнологий. Существующий универсальный вакуумный криогенный спектрофотометр (далее — УВКС) модернизируется для повышения точности результата измерений. Неуклонное развитие аль-

тернативных источников излучения, появление ИК-спектрометров с более высокой чувствительностью получения спектров, появление анализаторов с высокой разрешающей способностью дают возможность улучшать качество выполняемых исследований.

В работе рассмотрена модернизация методики исследования астрофизических льдов и холодных межзвездных пылей. Приведен экспериментальный метод физического моделирования при помощи вакуумной криогенной установки. Подробно рассмотрены узлы универсального вакуумного криогенного спектрофотометра с целью дооснащения для последующего улучшения измерительных возможностей при проведении научных исследований. Получены ИК-спектры полистирола на спектрометрах ИКС-29 и ФСМ 2203. Результаты полученных характеристических полос поглощения сравнивались со значениями эталонного спектра полистирола. В работе проведен анализ выполненного дооснащения универсальной вакуумной криогенной установки спектрофотометра.

В докладе Талызина М. С. (журнал «Холодильная техника») и Пономарева В. Г. (ООО «НПП СИНТЕЗ») «Исследование применения смеси R1270 и R744 в качестве альтернативы для R410A» рассмотрены перспективы перехода к использованию природных хладагентов в холодильной технике, дан краткий анализ нормативных документов, позволяющий определить перспективное направление применения смеси природных хладагентов в качестве альтернативы R410A. Хладагенты группы А3 могут использоваться в оборудовании, предназначенном для установки в помещениях, не являющихся машинными отделениями (специальных машинными отделениями) и применяемом в системах кондиционирования воздуха и тепловых насосах, используемых в целях комфортного жизнеобеспечения людей без ограничений заправки.

Приводятся результаты термодинамического анализа энтропийно-статистическим методом потерь при охлаждении жидкости в системах кондиционирования воздуха, работающей с холодильными агентами R410A и смесью R1270 с R744 по циклу одноступенчатого сжатия с однократным дросселированием. Степень термодинамического совершенства и холодильный коэффициент при адиабатном сжатии смеси R1270 с R744 выше на 7,24 % по сравнению с аналогичными показателями для R410A. Результаты анализа показали перспективность применения смеси природных хладагентов R1270 и R744 и позволили определить пути совершенствования холодильных установок.

Доклад Серякова А. В. (ООО «Рудетранссервис») посвящен «Интенсификации процессов теплопереноса и исследованию вихревых течений в тепловых трубах с локализованными фазовыми переходами». Разработаны и изготовлены короткие тепловые трубы (ТТ) с выполненным в виде сопла Лавала паровым каналом с коэффициентом заполнения 0,529, оснащенные емкостными датчиками и микротермисторами. Короткие ТТ предназначены для охлаждения космических аппаратов с ядерной энергодвигательной установкой (ЯЭДУ).

Представлены результаты систематических исследований вихревых и пульсационных течений конденса-

рующегося пара в ТТ с числом Рейнольдса  $Re_{vp} \sim 10-10^5$ . Впервые установлено, что тороидальный вихрь конденсирующегося пара, возникающий в результате взаимодействия потока пара с нормально ориентированной плоской верхней крышкой ТТ, изменяет направление своего аксиального вращательного движения.

Величина понижения давления в центре тороидального вихря достигает 10 % давления конденсации, что приводит к повышению коэффициента теплопередачи  $K_{ТТ}$  коротких ТТ с паровым каналом в виде сопла Лавала по сравнению с тождественной ТТ, но с цилиндрическим каналом при равенстве габаритных размеров и массы заправки жидкостью.

При увеличении тепловой нагрузки направление вращения парового вихря изменяется на противоположное от продольной оси к периферии парового канала. Направления вращения прилегающих слоев парового вихря и течения пленки жидкого конденсата становятся спутными, что приводит к резкому уменьшению эффективной толщины пленки конденсата и превращению волнового течения в турбулентное с числом Рейнольдса пленки до  $Re_{\eta} \sim 600$ .

Измерения толщины пленки конденсата показывают резкое уменьшение толщины при увеличении температурного напора на испаритель, что является косвенным подтверждением изменения направления вращения тороидального вихря конденсирующегося пара, примыкающего к движущейся пленке на верхней крышке ТТ.

Обнаружен эффект центрирования микрокапель влажного пара в выполненном в виде сопла Лавала паровом канале коротких ТТ при возникновении пульсаций давления при  $Re_{vp} \sim 10^5$  в канале с помощью выделения низкочастотного шума в суммарном сигнале емкостных датчиков. Предложен новый пульсационный метод на его основе для оценки влажности пара в паровом канале ТТ при большом напоре на испаритель.

Оценено повышение коэффициента теплопередачи  $K_{ТТ}$  короткой ТТ с выполненным в виде сопла Лавала паровым каналом при больших напорах на испаритель ( $Re_{vp} \sim 10^5$ ) и продольных внешних вибрациях с частотой, равной частоте возникших внутренних пульсаций  $f_{puls} = f_{vibr}$ . Обнаружен резонансный характер повышения коэффициента теплопередачи до 30 %. Интенсификация теплопередачи происходит, в том числе, и из-за дополнительного уменьшения толщины пленки конденсата между пиками волн.

Решение обратной задачи теплопроводности для анализа работы испарительного фрагмента короткой линейной низкотемпературной ТТ позволяет констатировать, что при большом напоре и начале кипения в испарителе  $Re_{vp} > 10^4$ , теплоемкость испарительного фрагмента ТТ, включающего испаритель, показывает экстремальное поведение. Величина экстремума определяется скоростью нагрева и параметрами жидкости.

Семенов А. Е., Андреев А. И. (Астраханский ГТУ) провели «Исследование процессов обработки воздуха тепловым насосом в сушильной установке». В настоящее время широкое распространение получила технология, использующая одновременно наружный воздух и тепловой насос, что позволяет значительно экономить энергетические ресурсы и существенно повысить рен-

табельность сушки продуктов. Была разработана простая и эффективная технология, использующая тепловой насос, адаптированная под малые бытовые сушилки. На базе данной технологии разработана малая автономная установка, обладающая существенно более низкими затратами энергии, чем существующие аналоги, и сочетающая в себе компактность и высокую эффективность.

Испытание установки проводилось в режиме сушки нарезанных долек яблок. В результате экспериментального исследования установки получены следующие результаты: вес при начальной загрузке яблок 1,905 кг, время сушки 5 часов, удаленная влага 0,72 кг, процент удаленной влаги от веса яблок 37,8%, скорость удаления влаги в среднем 0,14 кг/ч, расход электроэнергии за весь период сушки 2,9 кВт (в среднем 0,560 кВт-ч), расход электроэнергии компрессора в среднем 0,472 кВт-ч. Удельный расход электроэнергии на килограмм испаренной влаги составил 4,03 кВт-ч/кг.

Измерение шума с использованием смартфона и программы «Шумомер» составило 44 дБ, что является низким уровнем для помещения. Аэродинамическое сопротивление системы воздуховодов и камеры сушки составляет 48,5 Па. Скорость воздуха в камере сушки 0,8 м/с, а в тепловом насосе между испарителем и конденсатором 1,2 м/с.

Сравнение затрат энергии на сушку с помощью теплового насоса и электронагревателя, как прямого аналога, показало, что предложенная установка-насос затрачивает до 30% меньше энергии. Достоинство такой установки является проведение процесса сушки при относительно низких температурах, ниже, чем в применяемых сушильных устройствах, а также при более низких энергетических затратах. Представленная технология перспективна для внедрения в производстве для улучшения качества продукта, экономических показателей процесса производства продуктов питания и снижения цены для конечного потребителя.

**«Использование природных хладагентов в тепловых насосах для повышения энергоэффективности промпредприятий»** обсуждается в докладе Француз О. С. (МГУТУ им. К. Г. Разумовского). Пропан R290 и изобутан R600a являются природными хладагентами. Они не разрушают озоновый слой Земли и не влияют на создание парникового эффекта. Хладагент R600a уже получил широкое применение в бытовых холодильниках. Недостатком R600a и R290 является их воспламеняемость. Именно фактор горючести сдерживает применение природных газов для тепловых насосов в частных домах, коттеджах и небольших предприятиях. Концентрация воспламенения изобутана в воздухе составляет 30–200 г/м<sup>3</sup> и создание такой концентрации весьма маловероятно при утечке.

Средние и крупные промышленные предприятия отличаются высокой культурой обслуживания, технические специалисты и системы автоматики ведут за технологическим оборудованием непрерывное наблюдение, а наличие открытых промышленных площадок, где можно разместить тепловые насосы с хладагентами — природными газами, делают их применение чрезвычайно актуальным.

Выполнен проект для охлаждения СОЖ на экспериментальной установке с тремя тепловыми насосами,

работающими на хладагенте R600a с охлаждением СОЖ и одновременным нагревом воды для горячего водоснабжения (ГВС) до 50 °С. Пиковые нагрузки на ГВС на предприятии составляют 350 кВт/ч, средние в рабочее время — 250 кВт/ч. Для стабильного снабжения ГВС дополнительно установлены баки-аккумуляторы. Коэффициент COP при работе на R600a составляет 8,82.

На предприятии также имеется десять паспортизированных водоносных скважин неглубокого заложения (9 метров) с дебетом 30–56 м<sup>3</sup>/ч. Проработаны технические решения о переводе систем водяного отопления на энергоэффективное теплоснабжение от тепловых насосов, работающих по двухступенчатой схеме на хладагенте R290. Коэффициенты COP при работе на R290 теоретически составит 3,33. Предполагается установки использовать в наружном исполнении. Дисконтированный срок окупаемости реконструкции цеха — 4,2 года.

Карташов С. В., Кожухов Ю. В. (Университет ИТМО) представили доклад **«Методика построения расчетной сетки малорасходных ступеней центробежных компрессорных парниковых газов для моделирования вязкого потока»**. Рассматривается вопрос выбора сеточной модели при численном моделировании (RANS-подход) вязкого потока газа в малорасходной ступени центробежного компрессора для парниковых газов с условным коэффициентом расхода  $\Phi=0,008$  в программном комплексе Numeca Fine/Turbo. Рассмотрен вопрос сеточной независимости решения расчетной модели в рабочем тракте ступени и притрактных областях. Показано, что обеспечение сеточной независимости решения в притрактных областях малорасходной ступени важно не менее, чем в лопаточных аппаратах проточной части. Оценено влияние безразмерного расстояния первого пристеночного слоя  $y^+$  при использовании низкорейнольдсовой модели турбулентности Spalart-Allmaras.

По результатам исследования показано принципиальное значение обеспечения сеточной независимости решения при моделировании малорасходных ступеней центробежных компрессоров. При неаккуратном подходе к выбору размера сеточной модели и размера первого пристеночного элемента ГДХ ступени будет сильно отличаться: по КПД в пределах 5% для сеточной модели в основной проточной части и 6% — для модели в притрактных областях. Причем влияние последнего можно рассматривать даже как более значительное, так как сеточная модель влияет одновременно и на коэффициенты потерь трения дисков, протечек, и на теоретический напор колеса за счет изменения закрутки газа на входе в рабочую камеру. В качестве рекомендации к построению сеток необходимо отметить, что обеспечение сеточной независимости происходит при достаточно густом визуальном насыщении расчетными ячейками сеточной модели. Также важно контролировать значение  $y^+$ , являющееся безразмерным расстоянием до стенки, в соответствии с используемой моделью турбулентности — для низкорейнольдсовых версий моделей  $y^+<1$ .

Фатева Е. С., Кожухов Ю. В. (Университет ИТМО) разработали **«Методику моделирования вязкого потока в центробежных компрессорах диоксида углерода»**. Рассмотрены исследования численного моделирования центробежных компрессоров (ЦК) для диоксида угле-

рода. Ученые Китайской академии наук в 2022 г. исследовали влияние показателя изоэнтропии на параметры потока в компрессорах для сверхкритического диоксида углерода (S-CO<sub>2</sub>). В Карлтонском университете в 2017 г. выполнен численный анализ рабочего колеса и диффузора ЦК в составе электростанции мощностью 10 МВт на основе цикла Брайтона с рекуперацией отходящего тепла, работающей на S-CO<sub>2</sub>. В горнометаллургической академии в Кракове в 2016 г. проведено исследование двух моделей ступеней ЦК на воздухе и CO<sub>2</sub>. Диоксид углерода оказался более эффективным по сравнению с воздухом на всем диапазоне использования.

Центробежные компрессоры активно используются на действующих проектах по сжижению CO<sub>2</sub>. В настоящем исследовании в качестве тестового варианта для моделирования методами CFD выбран воздушный центробежный компрессор в составе установки сжижения воздуха. Проведено газодинамическое проектирование компрессора аналитическим методом. Полученная конструкция ЦК включает 6 ступеней сжатия, закрытые рабочие колеса (РК), лопаточные диффузоры. Получены удовлетворительные результаты расчета. Расчетное конечное давление соответствует заданному. Расхождение по конечной температуре газа составляет 0,4%. Расхождение по КПД ступеней составляет от 1,5 до 4,2%.

На следующем этапе планируется аналитический расчет ЦК для CO<sub>2</sub>, расчет конструктивных элементов, имитационное моделирование с использованием CFD, анализ результатов, верификация и валидация методики численного моделирования.

**«Исследованию методов теории подобия турбокомпрессоров для центробежных компрессоров установок по сжижению природного газа»** посвящен доклад Соколова М. И. и Кожухова Ю. В. (Университет ИТМО). Метод подобия для центробежных компрессоров использует критерии подобия для обобщения имеющихся данных. Также, благодаря теории подобия, были развиты методики постановки экспериментов, на основе которых, основаны методы проектирования проточных частей центробежных компрессоров.

Благодаря методам теории подобия возможно спроектировать геометрически подобный прототипу центробежный компрессор с высокой степенью энергоэффективности. Прототипом для подобного расчета могут выступать: экспериментальный прототип (например, масштабированная лабораторная модель), другой действующий рабочий агрегат или точная верифицированная математическая модель.

Теория подобия позволяет ставить различные численные и физические эксперименты над геометрически подобными агрегатами, создавать цифровые двойники центробежных компрессоров, а также снижать экономический и материальный риск при испытании агрегатов на горючих, взрывоопасных или токсичных газах и т. д. Однако в теории подобия не учитываются следующие процессы:

1. Процессы теплообмена с внешней средой (компрессоры с внутренним охлаждением для многосекционных агрегатов расчет необходимо проводить в рамках каждой секции отдельно);

2. Попадание капельной влаги, охлаждение впрыскиванием;

3. Течение в проточной части центробежного компрессора считается стационарным или квазистационарным;

4. Пренебрежение влияния начальной скоростью потока газа, а также его турбулентностью;

5. Сжимаемая среда считается идеальным газом с постоянными теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$ .

Таким образом, самым серьезным ограничением теории подобия является необходимость упрощения свойств сжимаемой среды от реального газа к идеальной модели.

В данной работе проведен анализ возможности проведения натурного эксперимента на воздушном центробежном компрессоре для исследования параметров центробежного компрессора в установке производства СПГ.

**«Использование экологически безопасных хладагентов в высокоэффективных теплонасосных установках»** обсудили в своем докладе Живаев В. С., Малышев А. А. (Университет ИТМО). Рассматриваются возможности использования хладагентов класса гидрофторолефины (HFO), в частности R1234yf, в теплонасосных установках (ТНУ) в сравнении с широко применяемыми аналогами R134a, R717, R410A. Хладагент R1234yf является одним из экологически чистых среди гидроолефинов (потенциал глобального потепления GWP <1, среднее значение ПДК 0,47 г/м<sup>3</sup>). Однако имеет повышенный класс опасности по стандарту ASHRAE STANDART 34 — A2L. Проведено сравнение эффективности тепловых насосов типа «воздух — вода», «вода — воздух» на данных рабочих веществах.

За основу взят действительный нерегенеративный цикл пароконденсационного теплового насоса. Проведен расчет параметров цикла для каждого температурного диапазона. Уточнялись такие важные параметры как отопительный коэффициент и удельный тепловой поток, отводимый в систему ГВС. По полученным данным проводился эксергетический анализ, который основывался на расчете эксергии — максимальной работы, совершаемой при обратимом переходе системы из начального состояния в равновесное состояние относительно окружающей среды. По итогам расчетов были построены зависимости отопительного коэффициента и общего эксергетического КПД исследуемой системы от температуры внешней среды. Анализ зависимостей показал, что использование гидроолефина R1234yf в различных типах ТНУ приводит к сопоставимым результатам при использовании хладагентов R134a, R410A, R717.

Данилишин А. М. и Кожухов Ю. В. (Университет ИТМО) сделали доклад о **«Выборе метода расчета термодинамических свойств хладагента R744 (CO<sub>2</sub>) для моделирования высоконапорных проточных частей ступеней конечного типа центробежных компрессоров»**. Анализируются методы расчета свойств двуокиси углерода: FEQ, FEK, BWR, FE1, FES. В качестве примера рассматривается многовальная восьмиступенчатый центробежный компрессор компании MAN Turbo модель RG080–8 со следующими параметрами: начальное давление 117000 Па, конечное давление 18733000, отношение давлений 160,1, начальная температура 66 °С, после каждой ступени сжатия предусмотрено промежуточное охлаждение до температуры 35 °С. Каждая ступень ком-

прессора представляет собой высоконапорную проточную часть концевой типа с отношением давления  $P=1,909$ . Выполнен анализ процесса сжатия в ступенях с учетом потерь в промежуточных газоохладителях. Проведена оценка внутренней мощности компрессора для каждого метода: FEQ — 11,416 МВт, FEK — 11,416 МВт, BWR — 11,413 МВт, FE1—11,417 МВт, FES — 11,418 МВт. В процессе сжатия установлены значительные изменения коэффициента сжимаемости  $z$  от 1 до 0,3, меньшие значения характерны для последних ступеней.

В результате анализа установлено, что для чистого  $CO_2$  большинство методов расчета термодинамических свойств показывают практически одинаковые значения внутренней мощности. Дополнительно свойства хладагента сопоставлены с таблицами ГСССД 96–86 «Таблицы стандартных справочных данных. Диоксид углерода жидкий и газообразный» со значениями плотности и коэффициента сжимаемости в диапазоне температур от 300 К до 400 К и давлений от 1 бар до 200 бар. Для всех методов расхождение не превышает 0,38%. Разность энтропий при изотермическом сжатии от 1 до 200 бар в сравнении с рассмотренными методами не превышает 0,25% на всех температурах до 350 К. При температуре 400 К расхождение может достигать до 1,8% (большие значения для BWR и FE1). На основе рассмотренных данных для моделирования высоконапорных проточных частей концевой типа центробежных компрессоров наиболее реальными методами выбраны: FEQ, FEK, FES.

**«Технологии улавливания и хранения диоксида углерода»** анализируются в докладе Кирьяновой Е. А., Митропова В. В. (Университет ИТМО). Технологии улавливания и хранения направлены на снижение концентрации диоксида углерода путем недопущения его попадания в атмосферу. В промышленных процессах и процессах электрогенерации системы улавливания позволяют извлекать углекислый газ до сжигания топлива, после сжигания, а также — во время сжигания обогащенного кислородом топлива. Транспортировка газа к месту захоронения чаще всего осуществляется по трубопроводам, реже — на газозах. Длительное хранение диоксида углерода возможно на морском дне, под землей или в горных породах, а его использование в сочетании с ПИН- и ПИУМ-технологиями дает дополнительную выгоду.

Особое внимание уделено технологии прямого улавливания из атмосферного воздуха, например, разработанной компанией «Carbon Engineering». В основе лежат два взаимозависимых цикла химических реакций. Технически процессы осуществляются при помощи 4 крупных устройств: воздухозаборника, грануляционного реактора, кальцинатора и парового гасителя. Препятствием для широкого использования данных технологий является высокая стоимость, однако, основные преимущества — совместимость с большинством уже используемых энергетических систем.

Кузнецов П. А., Просторова А. О., Третьяков В. П. (СПбГПУ Петра Великого) предложили **«Экономичную технологию изготовления многослойных трубчатых фильтров из порошков»**. Тонкая очистка жидкостей и газов требуется как при получении особо чистых продуктов, так и при необходимости очистки использован-

ного материала для восстановления его исходных свойств и утилизации отходов. С экономической точки зрения предпочтительнее использовать регенерируемые фильтры, среди которых выделяются многослойные металлические фильтры трубчатой формы. В многослойных фильтрах «гряземкость» фильтра является максимальной, а время работы — весьма значительным при высокой тонкости очистки. Используемое при этом гидростатическое прессование ограничено из-за высокой стоимости гидростатов.

Технологией производства восстанавливаемых недорогих фильтров из металлических порошков, эффективной даже в мелкосерийном производстве, может являться эластостатическое прессование (ЭСП), при котором формирующей подвижной средой, аналогично жидкости, является полиуретан. Технология реализуется на обычном гидравлическом прессе в стальной пресс-форме, состоящей из жесткого цилиндрического контейнера с помещенной внутри сменной эластичной матрицей, оправкой для получения внутреннего отверстия прессуемой втулки и пуансоном, входящим в отверстие контейнера.

Процесс ЭСП многослойных втулок осуществляется следующим образом: порошковые материалы помещаются внутри эластичной матрицы в полость между ее внутренней поверхностью и оправкой. Засыпка порошковых материалов может производиться одновременно с использованием перегородок, либо последовательно в зазор, образующийся после прессования каждого предыдущего слоя. Уплотнение порошковых материалов осуществляется при осевом сжатии пуансоном эластичной матрицы с порошками. Оправка обеспечивает центрирование эластичного формирующего элемента. После снятия давления эластичная матрица возвращается в исходное состояние, а спрессованное изделие извлекается из матрицы. Выбор схемы прессования определяется размерами изделия и требованиями к качеству и форме его поверхности. Так, применение схем двустороннего прессования позволяет получить высокие многослойные втулки с отношением высоты к диаметру до 8–10 и снизить величину разноплотности трубчатых изделий по высоте до 1,5–2%. Максимальные габариты изделий составляют: по высоте — до 250 мм, по диаметру — до 100 мм.

В докладе Кузнецова П. А., Просторовой А. О., Третьякова В. П. (СПбГПУ Петра Великого) обсуждается **«Вытяжка тонколистовых деталей с повышенными требованиями к допуску плоскостности фланца»**. Полые тонколистовые детали с повышенными требованиями к допуску плоскостности фланцевой поверхности широко применяются в вакуумных системах холодильной, криогенной техники. Изготовление таких деталей производится при использовании листовой штамповки и механической обработки поверхности для фланцевого соединения.

Известно, что при вытяжке тонколистовых деталей за счёт тангенциальных сжимающих напряжений образуются гофры на фланцевой части заготовки и в зонах, находящихся вне контакта с рабочими частями штампа. Уменьшение влияния тангенциальных напряжений достигается при увеличении усилия прижима, а также при



применении вытяжных ребер или перетяжных порогов. Однако повышение усилия прижима зачастую приводит к разрушению материала заготовки. Два других способа требуют увеличения размеров заготовки, что ведет к уменьшению глубины детали и к существенному росту технологических припусков.

Наиболее эффективным решением проблемы является технология вытяжки детали за две операции. В первой операции деформирование плоской заготовки производится в штампе с рекомендуемыми параметрами геометрии инструмента (более высокие радиусы закругления матрицы и пуансона) и при допустимом коэффициенте вытяжки. На второй операции производится перераспределение металла фланцевой части заготовки на образование уступа при одновременном повышении общей глубины детали.

Предложенная технология изготовления тонколистовых деталей позволяет обеспечить требуемые технические требования к допуску плоскостности фланцевой поверхности. Кроме того, термическая обработка не оказывает существенного влияния на плоскостность при формировании уступа с минимальными радиусами сопряжений.

**«Особенности использования воды в качестве хладагента в судовых холодильных машинах»** рассмотрены в докладе Оскомы А. А., Жилкина А. Ю. (Университет ИТМО). В современном мире создано человеком большое разнообразие холодильных машин (ХМ), включая судовые. С появлением парового флота в XVIII веке обострилась проблема заморозки и сохранения скоропортящихся продуктов. В связи с этим обострилась проблема наличия холодильных машин на судне. Далее в связи с развитием холодильной тематики на судне появилась новая задача, которая требовала решения — обеспечить бесперебойную работу главной энергетической установки (ГЭУ) судна, а также создать комфортные условия для круглосуточного нахождения моряков в каютах для отдыха и у работающих двигателей. Таким образом, началась эра абсорбционных холодильных машин (АБХМ). АБХМ должны были обеспечивать охлаждение воздуха в системе кондиционирования воздуха и охлаждение рабочего масла в главной энергетической установке (ГЭУ).

В холодильных установках используются разнообразные хладагенты, такие как хладоны, аммиак, углекислота, вода. Рассмотрено применение в качестве холодильного агента для судовых холодильных машин воды. Вода является наиболее безопасным рабочим веществом, сравнительно дешевая, на Земле она содержится в достаточном количестве. Главным достоинством АБХМ является отсутствие компрессора. Таким образом, при эксплуатации АБХМ не требуется определенного технического обслуживания, так же не нужен ЗИП для устранения поломок компрессора, что является весьма актуальным при нахождении судна вдали от базы. В связи с тем, что на судах имеет бросовое тепло от ГЭУ, или от системы охлаждения (ядерная энергетическая установка, паросиловая установка), или из системы уходящих газов систем кондиционирования применение АБХМ является рациональным, так как для ее работы требуется подвод теплоты. В АБХМ испарительного типа ис-

пользуют абсорбцию для удаления паров хладагента из испарителя, а также дисцилляцию или ректификацию для разделения хладагента (вода) и абсорбента (раствор бромистого лития).

Одним из типов холодильных машин, которым также необходимо бросовая теплота являются парозежекторные холодильные машины (ПЭХМ). ПЭХМ возможно использовать в судовых системах кондиционирования воздуха. Применением воды в качестве рабочего вещества в судовых АБХМ и ПЭХМ позволяет сделать работу холодильных машин дешевле и безопаснее, а также повысить коэффициент полезного действия судовой ГЭУ за счет использования бросовой теплоты.

Юплова В. В., Румянцева О. Н. (Университет ИТМО) оценили **«Экологические аспекты замораживания растительного сырья: анализ углеродного следа»**. Актуальность темы исследования обусловлена активным ростом российского рынка замороженных овощных полуфабрикатов и повышением внимания к проблеме глобального изменения климата. Цель исследования состоит в сравнительном анализе углеродного следа процессов производства и хранения картофеля фри из свежего и замороженного сырья и разработке рекомендаций по снижению углеродного следа при производстве замороженной продукции. В работе рассматриваются две схемы производства и хранения картофеля фри в течение 7 месяцев. Вариант № 1: замораживание полуфабрикатов из свежего картофеля и длительное хранение замороженного полуфабриката. Вариант № 2: длительное хранение свежего картофеля и замораживание полуфабрикатов.

В ходе проведения работы были: изучены схемы производства замороженного полуфабриката «Картофель фри» по энергозатратам и ресурсоемкости; произведен расчет масс сырья и продукции участвующих в разных этапах производства; определены процессы производства, для которых необходимо произвести расчет углеродного следа: транспортировка сырья и продукции (кроме этапа транспортировки для реализации), мойка, чистка и резка, хранение свежего картофеля (вариант № 2) и этап хранения замороженного полуфабриката (вариант № 1), этап выращивания и сбора свежего картофеля.

Для расчета углеродного следа были определены ключевые процессы, проведен расчет количества исходного сырья. При рассмотрении цепочки производства замороженных овощных полуфабрикатов возможно уменьшить углеродный след системы путем внедрения изменений на определенных этапах производства или исключением определенных этапов. Для проведения комплексного сравнительного анализа двух вариантов производственной схемы в ходе дальнейших исследований предполагается рассмотрение нутриционных и экономических параметров.

Малинина О. С., Байрамов Ш. З., Комаров К. А. (Университет ИТМО) обсудили **«Экологически безопасные технологии систем холодоснабжения на базе абсорбционных термотрансформаторов»**. В настоящее время проблема энергосбережения зданий и промышленная экологическая безопасность является актуальной задачей. С развитием методов моделирования параметров

абсорбционных термотрансформаторов становится возможным более широкое применение таких установок для нужд холодоснабжения, что вносит вклад в решение проблемы энергосбережения.

Авторами рассмотрена система холодоснабжения здания на базе абсорбционной бромистолитиевой гелиохолодильной машины с применением преобразователя солнечной энергии и аккумулятора тепловой энергии. С целью проектирования системы охлаждения разработан программный комплекс. Данный комплекс реализует имитационное моделирование, которое находит все большее применение в современных условиях. Разработанное на основе имитационной модели программное обеспечение представляет собой расчетный комплекс для анализа различных параметров си-

стемы. Выполнен сравнительный анализ режимов работы системы с учетом различных конфигураций. Установлены оптимальные параметры работы абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины, соответствующие максимальному значению теплового коэффициента.

Председатель Рабочей группы «Свойства хладагентов и теплоносителей» Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН и секции «Термодинамические основы холодильной и криогенной техники» Международной академии холода Цветков О. Б. информировал собравшихся о деятельности Рабочей группы в 2022 г., планах работы на 2023 г., а также о тематике предстоящей научно-технической конференции в начале 2024 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.*

**ИТМО****Образовательный центр  
«Энергоэффективные инженерные системы»****Университета ИТМО**

Приглашает принять участие в конференциях, проводимых в 2023 г.

**VII Конференция «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ»  
25-26 мая 2023 г.**

Формат проведения – очно-дистанционный.

Регистрация участников и прием тезисов – до 30 апреля 2023 г.

Участие в конференции – бесплатно.

По итогам конференции будет издан Сборник тезисов конференции, индексируемый в РИНЦ.

Информация о конференции на сайте: <https://tfi.ifmo.ru/content/oconference>

**Ежегодная международная промышленная конференция «Компрессорные технологии» 2023  
24-26 мая 2023 г.**

Формат проведения конференции – очный.

Информация о конференции на сайте: [www.symp.kviht.ru](http://www.symp.kviht.ru)

**XI Международная научно-техническая конференция «Искусственный холод в XXI веке»  
15-17 ноября 2023 г.**

Секции конференции:

– Промышленный холод и энергоэффективные низкотемпературные системы.

– Криогенная техника, водородные технологии и технологии СПГ.

– Системы жизнеобеспечения.

– Пищевые системы и консервирование холодом.

– Экологические и экономические аспекты применения искусственного холода.

Формат проведения конференции – очно-дистанционный.

Регистрация участников – до 30 октября 2023 г., прием тезисов – до 15 июня 2023 г.

Участие в конференции – бесплатно.

По итогам конференции будет издан Сборник тезисов конференции, индексируемый в РИНЦ.

Информация о конференции на сайте: <https://rft21.itmo.ru>