



СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ

7-а МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
ЧАСТИНА 2

НТБ ОНАХТ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

7-а МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ



СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
ЧАСТИНА 2

ОДЕСА-2011

Сучасні проблеми холодильної техніки і технології / Збірник тез докладів Міжнародної науково-технічної конференції, Одеса, 14-16 вересня 2011 року, - Одеса, Видавн. ОДАХ, 2011, - 221 с.

Матеріали подано українською, російською та англійською мовами.

Редактори збірника – Лагутін А.Ю., Зімін О.В.

Комп'ютерна верстка збірника – Зімін О.В.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Притула В.В. – голова, ректор Одеської державної академії холоду

Члени організаційного комітету

- Лагутін А.Е. – проректор ОДАХ з наукової роботи;
Гоголь М.І. – начальник НДС;
Дорошенко О.В. – професор кафедри технічної термодинаміки;
Железний В.П. – професор кафедри інженерної теплофізики;
Ліпа О.І. – зав. кафедрою кондиціонування повітря;
Мазур В.О. – зав. кафедрою технічної термодинаміки;
Мілованов В.І. – зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів;
Наєр В.А. – професор кафедри кріогенної техніки;
Нікульшин Р.К. – професор кафедри холодильних машин і установок;
Бондаренко В.Л. – зав. кафедрою кріогенної техніки;
Хмельнюк М.Г. – зав. кафедрою холодильних машин і установок;
Чепурненко В.П. – професор кафедри холодильних машин і установок;
Зімін О.В. – асистент кафедри холодильних машин і установок

Адреса: 65082, м. Одеса, вул.Дворянська 1/3,
Одеська державна академія холоду(ОДАХ)

Оргкомітет СПХТТ – 2011

тел. 8(048) 723-63-62. Факс 8 (0482) 723-60-45

E-mail: admin@osar.odessa.ua

СЕКЦИЯ № 3
КОМПРЕСОРИ. РОБОЧІ РЕЧОВИНИ

керівники секції проф. Мілованов В.І., проф. Железний В.П.

**О ДИНАМИКЕ ДИФФУЗИОННОГО ПЕРЕНОСА ИЗОБУТАНА В
МАЛОПОДВИЖНОМ ВОЗДУХЕ**

Осокин В.В., Бирюков А.Н.

**Донецкий национальный университет
имени Михаила Туган-Барановского**

До настоящего времени вообще не изучен вопрос, касающийся диффузии в малоподвижном воздухе изобутана с поверхности его «розлива», возможность образования которого показана в наших работах. Решение этого вопроса необходимо для разработки эффективных способов и средств обеспечения взрывопожароопасности малой холодильной техники, работающей на изобутане (по аналогии, на других углеводородах).

Цель данной работы – разработка и обоснование теоретической основы для установления динамики изменения концентрации изобутана в малоподвижном воздухе (разнотемпературные отделения холодильного шкафа, пространство за задней панелью бытового холодильника – во время его стоянки) на различной высоте от зеркала его «розлива» в течении любого времени.

Процесс диффузии описывается законом Фика

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где c – текущая концентрация изобутана, г/м³, t – время, с, x – координата текущей точки, м, D – коэффициент диффузии, м²/с.

В начальный момент времени изобутан сосредоточен в виде тонкого слоя в донной части емкости, то есть

$$c(x, 0) = m \delta(x), \quad (1.2)$$

где m – масса изобутана, кг, $\delta(x)$ - функция Дирака.

В данной работе представлено аналитическое решение поставленной задачи.

Для аналитического решения уравнения Фика, пропуская промежуточные вкладки, имеем:

$$c(x, t) = \frac{c_0}{\sqrt{\pi D}} t^{-1/2} e^{-r^2/(4Dt)}, \quad (2)$$

где $c(x,t)$ – концентрация изобутана на определенной высоте в определенный момент времени, $r = x$, c_0 – начальная концентрация изобутана (в слоевом скоплении $c_0 = 100\%$).

По формуле (2) выполнены с помощью, разработанной нами в оболочке VBA программы «Диффузия 2» соответствующие вычисления, на основе которых построены в программе Excel графические зависимости концентрации изобутана в воздухе морозильной и холодильной камер от времени наблюдений на различной высоте от зеркала «розлива» изобутана.

Простой арифметический расчет показывает, что при равномерном распределении, например, 4,5 г изобутана в морозильной или холодильной камерах, имеющих объем, соответственно $6,910^{-2} \text{ м}^3$ и $0,53 \text{ м}^3$, концентрация его в находящемся в них воздухе, составит 65 и $8,5 \text{ г/м}^3$.

В морозильной камере концентрация изобутана над поверхностью его «розлива» и в подпотолочной части стабилизируется примерно через 4 часа, в средней части через 1 час от начала отсчета времени и достигает примерно указанной выше расчетной величины (около 65 г/м^3) – в концентрационных пределах воспламенения и горения изобутана в воздухе ($38 \dots 203 \text{ г/м}^3$).

В холодильной камере процесс диффузии изобутана (4.5 г) с зеркала «розлива», естественно, более продолжительный при указанной выше закономерности изменения его концентрации. Стабилизация концентрации изобутана наступает над зеркалом «розлива» через 20 час, в средней

части холодильной камеры через 12 час, в подпотолочной части ее через 24 час от начала отсчета времени и достигает примерно указанной выше рассчитанной арифметической величины около $8,5 \text{ г/ м}^3$ – намного меньше нижнего предела воспламеняемости изобутана в воздухе. Нижний концентрационный предел воспламеняемости и горения изобутана в воздухе холодильной камеры может создаться при утечке в нее из работающей компрессорной системы массы его 20 г.

Следовательно, в холодильной камере работающего бытового холодильника (ДХ – 245 и подобных моделей), где находится под напряжением электротехнические изделия, концентрация изобутана в случае утечки этого хладагента из линии всасывания компрессорной системы почти в 5 раз меньше нижнего предела его воспламенения и горения в воздухе. Как видно, эти изделия не требуют, как предписывают стандарты, специального исполнения – взрывозащиты.

Таким образом, создана экспериментально обоснованная математическая модель формирования изобутано-воздушной смеси над зеркалом «розлива» изобутана в случае утечки его из компрессорной системы бытового холодильника, а так же программа соответствующих расчетов на ЭВМ.

КРИЗИСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ ХОЛОДИЛЬНОГО АГЕНТА В ЖИДКОСТНО-ПАРОВОМ СТРУЙНОМ КОМПРЕССОРЕ

Арсеньев В.М., Проценко М.И., Прокопов М.Г.

СумГУ, г.Сумы

Для понижающих гибридных термотрансформаторов рабочий процесс в жидкостно-паровом струйном компрессоре (ЖПСК) предполагает использование в качестве среды активного потока вскипающую при истечении жидкую фазу холодильного агента. Эффективность ЖПСК и термотрансформатора в целом в значительной степени определяется совершенством процессов истечения, и формирования рабочей струи пара, что

требует обеспечения завершенности парообразования в канале сопла активного потока при минимальной диссипации механической энергии.

Описание структуры потока вскипающей жидкости в расширяющемся канале требует определения условий, при соблюдении которых достигаются кризисные состояния. При использовании в ЖПСК сопл Лавала рассматриваются три кризисных состояния. Первый критический режим течения характеризует конечную величину начального метастабильного перегрева жидкости и расходные характеристики канала. Во втором критическом сечении завершается инверсия структуры потока и обеспечивается переход к парокапельному течению. Третье критическое сечение размещается за участком остаточного дробления конденсированной фазы хладагента в ускоряющемся парокапельном потоке мелкодисперсной структуры. Для каждого кризисного состояния потока рассмотрены определяющие величины. В первом сечении это предельные (критические) значения линейной и массовой скорости, показатель метастабильности расхода. Указанные кризисные характеристики представляются как функции начального недогрева жидкости до состояния насыщения, что позволяет использовать для сравнения опытные данные по адиабатному истечению вскипающих потоков воды. На участке пристенного дробления конденсированной фазы между первым и вторым критическим сечением канала двухфазный поток рассматривается как пузырьковая структура с изменением массового паросодержания вдоль продольной координаты на базе уравнения парообразования по схеме роста единичного пузырька в объеме перегретой жидкости. Анализ 2 и 3-го критического режимов течения производится на основе зависимости для расчета скорости звука в двухфазной мелкодисперсной однородной среде, полученной методами термодинамики необратимых процессов.

Распределение параметров и соотношений, характеризующих особенности формирования и развития парокапельного течения в сечениях инверсии и отрыва потока от стенки канала используется в качестве граничных условий при разработке программного продукта для численного моделирования ЖПСК в составе термотрансформатора.

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПОТОКА В ЖИДКОСТНО-ПАРОВОМ СТРУЙНОМ КОМПРЕССОРЕ ВИХРЕВОГО ТИПА

Арсеньев В.М., Мерзляков Ю.С.

СумГУ, г. Сумы

Повышение энергоэффективности процесса термотрансформации в парокomppressorных хододильных машинах и тепловых насосах, а также в различных системах рекомпрессии пара, возможно путем замены механических компрессоров на струйные термокомпрессорные (СТК) модули. Основным элементом СТК-модуля является жидкостно-паровой струйный компрессор (ЖПСК), в котором инжектирование и сжатие пара низкого давления производится рабочей струей, формирующейся за счет вскипания подаваемой в активное сопло недогретой до насыщения жидкости.

Численное и экспериментальное исследование рабочего процесса ЖПСК прямоосного типа подтверждает целесообразность указанной выше замены в границах тепловых нагрузок и расходов, обеспечивающих рациональные геометрические соотношения сопла активного потока. Величина критической скорости в расходном сечении конденсированной фазы активного потока определяется только выбором начальных термических параметров и обеспечивается, в зависимости от расхода, соответствующей величиной площади сечения. Независимость размеров частиц жидкости и пара в процессе структурного преобразования потока от величины диаметра критического сечения обуславливает для малых расходов необходимость в увеличении размеров канала для обеспечения требуемого времени релаксационного парообразования.

Увеличение времени процесса расширения парокapельного потока в условиях высоких отрицательных градиентов давления и малых значений массовых расходов хладагента можно достичь путем применения струйного аппарата вихревого типа. Вихревой принцип инжектирования пассивного потока может быть реализован в разнообразных конструктивных решениях с применением цилиндрических и конических вихревых камер, спиральных каналов, лопаточных завихрителей и других вариантов взаимодействия потоков. Для обеспечения более высоких степеней сжа-

тия пассивного потока возможно сочетание профилированного соплового аппарата и вихревой камеры.

В отличие от прямоосных потоков самовскипания, теплофизическое моделирование процесса парообразования в условиях адиабатных вихревых течений носит более сложный характер в силу доминирования инерционных сил в механизме зарождения и роста паровой фазы. Как показывают расчеты в ЖПСК вихревого типа за счет динамического воздействия со стороны потока жидкой фазы рабочих веществ НФС-типа, на порядок уменьшается отрывной диаметр паровых пузырей и еще в большей степени увеличивается частота их отрыва. В силу указанного снижается время как объемного, так и поверхностного релаксационного парообразования, что позволяет решить проблемы, связанные с масштабным эффектом при моделировании ЖПСК.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКОСТНО-ПАРОВОГО ВАКУУМНОГО ЭЖЕКТОРА

**Арсеньев В.М., Шарапов С.О., Прокопов М.Г.,
СумГУ, г. Сумы**

На современном этапе развития промышленности все больше возникает потребность в создании принципиально новых систем вакуумирования, что связано с многими недостатками существующих установок на базе пароструйных и парожеткорных агрегатов. Однако, увеличение объема их выпуска за последнее время не привел к существенному повышению их эффективности, созданию новых конструкций и расширению диапазона работы. Это объясняется недостатками разработанной теории, существующих методик расчета и количества экспериментальных исследований. В настоящее время для таких систем фактически отсутствуют необходимые теоретические знания и технические средства, позволяющие проектировать и изготавливать машины в строгом соответствии с заданными исходными данными. Для достижения максимальных показателей эффективности данных аппаратов в каждом конкретном случае опытным путем подбирают соответствующие геометрические параметры, т. е. про-

изводят стендовую доводку, которая не всегда дает ожидаемый, приемлемый результат. Поэтому на сегодняшний день существует острая потребность в создании принципиально нового подхода к проектированию вакуумных систем, который даст возможность создавать машины в соответствии с условиями работы при минимальных затратах средств и времени с одновременным достижением высокой эффективности. С другой стороны, совокупность опытных данных и их теоретическое обобщение должны предоставить возможность проектирования новых аппаратов с различными геометрическими соотношениями и конструктивными особенностями, что позволит применять их на различных рабочих жидкостях и режимах работы.

Пароструйные вакуумные агрегаты, применяемые для создания глубокого вакуума, при отношении давлений $\sim 10 \div 15$, как правило, являются многоступенчатыми. Суммарный к.п.д. такого агрегата находится на уровне $2 \div 10\%$. Такой низкий уровень его эффективности связан с тем, что повысить давление в одной пароструйной ступени можно не более чем в $2 \div 3$ раза при условии высокого уровня преобразования энергии. Большая степень повышения давления ведет к резкому снижению к.п.д. агрегата, что связано с потерями «на удар» при смешивании сверхкритического активного и докритического пассивного потоков.

Разработка цикла, который основывается на истечении из расширяющегося канала метастабильно перегретой вскипающей жидкости, реализующегося в жидкостно-паровом вакуумном эжекторе, дает возможность получить высокие показатели энергетической эффективности.

Отличительные особенности реализации нового цикла можно проследить при сопоставлении с пароструйным вакуумным агрегатом, работающим на перегретом (или сухом) водяном паре, когда рабочая струя пара формируется в районе верхней пограничной кривой. Процесс расширения от верхней пограничной кривой характеризуется значительно более высоким уровнем кинетической энергии потока, а значит и более высокими затратами энергии на генерацию сухого (или перегретого) пара и формирование рабочей струи. При расширении от нижней пограничной кривой, что соответствует реализации принципа СТК, приводит к более низкому уровню кинетической энергии. В данном случае практически ис-

ключено появление предельных критических режимов течения на входе в камеру смешения, которые существенно снижают эффективность газовых струйных эжекторов.

Применительно к вакууму, принцип струйной компрессии имеет ряд очень важных особенностей, связанных с механизмом увлечения пассивного потока активной струей, что в свою очередь зависит от режима течения откачиваемого потока и режима истечения паровой струи. Так, если обеспечить большой расход пара через сопло, а также достаточно высокую скорость и плотность струи, то эжектор может удовлетворительно работать в области высоких давлений ($10^{-1} \div 1,0$ мм рт. ст.) и при сравнительно большом давлении на стороне предварительного разрежения. В этом случае в зависимости от расхода пара через сопло режим его истечения может быть турбулентным или ламинарно-вязкостным. По мере уменьшения расхода будет все больше возрастать роль вязкостного захвата и уменьшаться роль турбулентного. При ламинарной струе откачиваемый поток будет увлекаться активной струей только в результате вязкостного захвата и частично диффузии, причем чем ниже давление пассивного потока, тем меньшую плотность и расход пара должна иметь струя. Наконец, при очень низких давлениях откачиваемого потока (10^{-2} Па и ниже), когда длина свободного пробега молекул пассивного потока становится соизмеримой с размерами впускного патрубка эжектора, вязкостное трение исчезает и механизм увлечения газа целиком определяется диффузией молекул откачиваемого потока в активную струю.

На базе принципа СТК построен принципиально новый цикл преобразования энергии, который реализуется в установке повышенной эффективности на базе жидкостно-парового вакуумного эжектора.

К его преимуществам следует отнести:

1. Возможность создания вакуумной установки с достаточно высоким к.п.д. на уровне 50-60%.
2. Существенное упрощение конструкции установки и, соответственно, снижение стоимости входящего в ее состав оборудования.
3. Использование широкого спектра топлив и теплоносителей.
4. Прогнозирование ресурса работы установки на уровне 20 лет и выше за счет применения умеренных параметров рабочих веществ.

СТРУЙНО-РЕАКТИВНЫЕ ТУРБИНЫ И ПНЕВМОАГРЕГАТЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Ванеев С.М., Королев С.К.

Сумский государственный университет

Во многих областях техники используются пневмоагрегаты относительно небольших мощностей и расходов, в которых преобразование энергии сжатого воздуха или газа в энергию выходного звена происходит в турбинах.

В качестве примеров можно выделить две задачи, для решения которых требуются конструктивно и технологически простые, надежные в эксплуатации малорасходные турбины и агрегаты на их основе.

Важной народно-хозяйственной задачей является задача создания пневматических, эффективных, надежных и удобных в эксплуатации приводов шаровых кранов больших проходных сечений ($DN > 300$ мм), устанавливаемых на компрессорных станциях и на линейной части магистральных газопроводов. Эти приводы должны использовать в качестве рабочего тела природный газ непосредственно из газопровода и обеспечивать управление краном во всем диапазоне рабочих давлений и температур.

Известно также, что большое количество эксергии сжатых газов и паров безвозвратно теряется на редукторах и регуляторах давления на газораспределительных станциях (ГРС) и газораспределительных пунктах в газовой промышленности, в различных технологических процессах в химической и других отраслях промышленности. В частности, анализ располагаемой мощности на ГРС и энергопотребления крупных промышленных предприятий показывает, что примерно на 65% действующих ГРС и на многих узлах дросселирования на предприятиях спрос на установки, срабатывающие перепад давлений с одновременной выработкой электроэнергии, может быть удовлетворен за счет малых локальных энергоустановок (мощностью менее 1 МВт). При создании таких установок основная проблема состоит в турбине, так как обычно для таких мощностей (осо-

бенно до 500 кВт) классические (центростремительные или осевые) турбины необходимо выполнять высокооборотными и часто с парциальным подводом газа или пара на рабочее колесо. Межлопаточные каналы в них получаются малоразмерными. Сама классическая турбина имеет направляющий и рабочий лопаточные аппараты и сложна в изготовлении. В итоге экономичность такой установки получается низкой, а срок окупаемости не менее 2,5 лет.

Для рассматриваемых областей применения по мощности и расходу рабочего тела перспективным является создание пневмодинамических агрегатов с использованием струйно-реактивных турбин (СРТ). Преимущества струйно-реактивных турбин позволяют получить пневмодинамический агрегат (в частности, турбопривод или турбогенератор) максимально простой и надежный, со сроком окупаемости 1-2 года.

Основными преимуществами струйно-реактивной турбины перед классическими турбинами являются: простота конструкции (особенно в реверсивном исполнении), низкая себестоимость изготовления, производственная технологичность, отсутствие сложных профилированных лопаточных элементов газового тракта, малая инерционность, возможность эффективно срабатывать в одной ступени большие отношения давлений, высокая надежность работы на загрязненном и влажном рабочем теле, особенно при малых расходах и низких температурах, что обусловлено сплошным (одноканальным) газовым трактом (в классических турбинах в этих условиях малоразмерные межлопаточные каналы могут перемерзнуть или забиваться).

В процессе отработки СРТ был проведен широкий комплекс экспериментальных исследований как на научно-исследовательских стендах, так и в составе пневматического привода шарового крана с диаметром проходного сечения 500 мм в диапазоне давлений питания 1.5-8 МПа, а также в составе турбодетандерного агрегата мощностью 100 кВт для газораспределительных станций. Был предложен и реализован ряд оригинальных технических решений.

В результате проведенных работ разработаны адекватные математические модели рабочего процесса струйно-реактивных турбин, которые позволили исследовать влияние конструктивных и рабочих параметров на

их характеристики; разработана структура потерь энергии и КПД для струйно-реактивной турбины, позволившая определить элементы и участки проточной части с наибольшими потерями, пути уменьшения этих потерь, а также выявить размерные и безразмерные комплексы, характеризующие режим работы турбины; разработаны пакеты прикладных программ и методики расчета струйно-реактивных турбин и агрегатов на их основе; получены решения ряда проектно-конструкторских задач по разработке новых видов пневмодинамических приводов и турбогенераторов.

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ВДУВА В БЕЗЛОПАТОЧНОМ ДИФFUЗОРЕ
ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА
Калинкевич Н.В., Щербаков О.Н.
Сумский государственный университет**

Значительная доля потребляемой в стране энергии приходится на привод центробежных компрессоров (ЦК). Поэтому повышение их максимального КПД и расширение диапазона устойчивой работы имеет большое значение.

Наиболее широкую зону устойчивой работы и пологую характеристику КПД в области больших производительностей имеют ступени с безлопаточными диффузорами (БЛД). Однако в области малых расходов экономичность БЛД обычно заметно ниже, чем лопаточного. Это вызвано, в первую очередь, возникновением обратных течений вследствие отрыва потока от боковых стенок. Кроме того, отрыв пограничного слоя, сопровождающийся не только появлением обратных токов, но и более сложными нестационарными явлениями, инициирует вращающийся срыв в ступени и определяет, таким образом, границу устойчивой работы. Следовательно, предотвратив отрыв потока можно не только уменьшить потери в диффузоре, но и расширить зону устойчивой работы ЦК.

Одним из способов управления отрывом потока является дув. Несмотря на достаточно широкое его применение в авиа- и ракетостроении, применимо к ЦК этот вопрос остаётся практически неизученным.

В работе представлена методика экспериментального исследования вдува в безлопаточном диффузоре. Цель проведения исследования – выявить влияние вдува на структуру течения в БЛД и определить энергетические характеристики диффузора со вдувом.

Для проведения исследования была разработана система вдува (рис.1). Воздух, всасываемый из атмосферы, при помощи поршневого компрессора 1 нагнетается в ресивер 2, и затем разделяется на два потока – к основному и покрывному дискам БЛД соответственно. На каждой из двух линий установлены запорно-регулирующая арматура 3, редукторы 4 для поддержания давления (а, следовательно, и расхода) вдуваемого воздуха постоянным, ротаметры 5 для измерения расхода и коллекторы 6 для разделения потока вдуваемого воздуха с целью равномерной его подачи по окружности к дискам диффузора.

Такая схема позволяет осуществлять вдув, как со стороны каждого из дисков отдельно, так и с обеих одновременно.

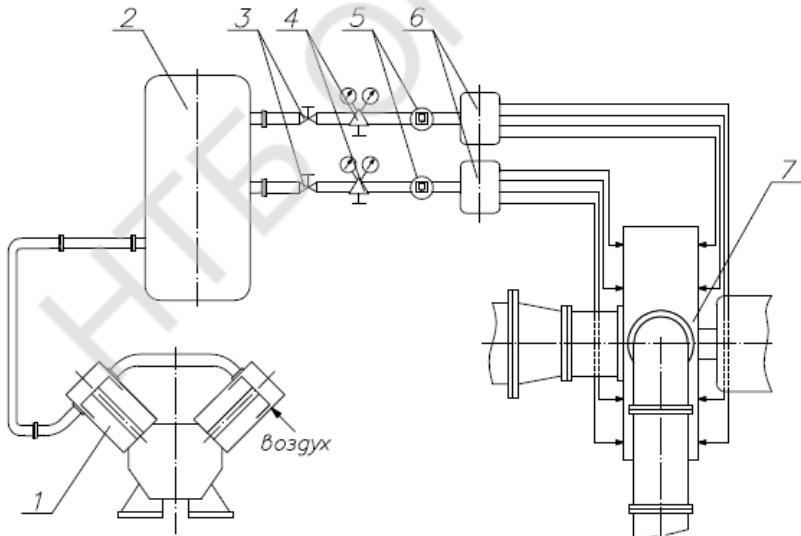


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для исследования вдува в БЛД:

1 – поршневой компрессор, 2 – ресивер, 3 – дроссельная заслонка, 4 – газовый редуктор, 5 – ротаметр, 6 – коллектор, 7 – экспериментальная модель

Вдвух воздуха осуществляется на относительном диаметре $D = 1,14D_2$ по всей окружности в радиальном направлении.

Для оценки энергетической эффективности диффузора используются коэффициент восстановления статического давления и коэффициент потерь:

$$C_p = \frac{P_{\text{вых}} - P_{\text{вх}}}{P_{\text{вх}}^* - P_{\text{вх}}}; \quad \zeta = \frac{P_{\text{вх}}^* - P_{\text{вых}}^*}{P_{\text{вх}}^* - P_{\text{вх}}}$$

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАНАЛЬНЫХ ДИФFUЗОРОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ

Калинкевич Н.В., Скорик А.В.

Сумский государственный университет

Повышение эффективности центробежного компрессора возможно за счет улучшения газодинамических характеристик его отдельных элементов.

Исследования центробежных компрессоров показывают, что на долю диффузоров приходится примерно треть энергии, диссипирующей в тепло в процессе сжатия и перемещения газа. Поэтому проектирование диффузоров с высокими характеристиками является актуальной задачей.

При выборе конкретного типа диффузора центробежного компрессора необходимо учитывать условия работы компрессора, а также его назначение. Так, следует ожидать, что применение канальных диффузоров при подаче газа из межлопаточных каналов в отдельные камеры (или устройства) может быть более эффективным в сравнении с применением лопаточных диффузоров.

Традиционная геометрия канальных диффузоров не обеспечивает низкий уровень потерь, поэтому имеет смысл разработка более благоприятной, с точки зрения характера течения, геометрии данных диффузоров.

Разработанная методика проектирования позволяет проектировать канальные диффузоры с задаваемым распределением скоростей на одной из сторон сегментов диффузора. Задаваемое распределение скоростей позволяет снизить величину касательных напряжений трения на поверхности сегментов диффузора, что приводит к снижению уровня потерь.

При проектировании канальных диффузоров за исходные данные принимались определенные экспериментальным путем параметры потока за рабочим колесом для четырех режимов работы центробежного компрессора (для значений углов потока на входе в диффузор α_3 равных $12,1^\circ$; $16,8^\circ$; $23,4^\circ$; 30°). Для каждого режима спроектировано по 2 варианта канальных диффузоров.

Расчет параметров потока в диффузорах выполнен с использованием программного комплекса ANSYS CFX. Были определены коэффициенты потерь ζ и коэффициенты восстановления статического давления C_p для каждого варианта.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ РАСТВОРОВ ХЛАДАГЕНТ/МАСЛО В СВОБОДНОМ ОБЪЕМЕ. АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ

Олейник И.В., Никулин А.Г., Мельник А.В.

ОГАХ, г. Одесса

Для эффективного осуществления процессов теплопередачи в новом поколении холодильного оборудования необходима информация об основных характеристиках теплоотдачи при кипении альтернативных хладагентов и их растворов с компрессорными маслами. Реальное рабочее тело (РРТ), циркулирующее в компрессорной системе, представляет собой раствор хладагент/масло (РХМ). Примеси масла в РРТ довольно сложно влияют на коэффициент теплоотдачи при кипении, например, в прямых испарителях. Применение существующих теоретических моделей,

описывающих кипение РХМ, как правило, сводится к аппроксимации экспериментальных данных, для чего требуется значительный объем эмпирической информации.

В данной работе ставилась цель изучения процессов кипения РХМ в свободном объеме путем экспериментального исследования с последующим обобщением опытных данных. Объектом исследования являлись растворы изобутана (R600a) с минеральным компрессорным маслом Агринол ХМИ. Подробное описание экспериментальной установки, реализующей метод циркуляции вещества по замкнутому контуру, приведено в работе [1]. Рабочий участок представлял собой тонкостенный (толщина стенки 0,25 мм) капилляр из нержавеющей стали диаметром 1,5 мм и длиной 730 мм. Опыты проводились при постоянных температурах кипения. Исследованы кривые кипения на пяти изотермах (+18, +8, -2, -12 и -18 °С) для чистого R600a и растворов R600a/масло, содержавших 2,5; 5; 10 и 30 масс. % масла. Диапазон плотности теплового потока включал значения, типичные для холодильной техники.

В докладе приводятся полученные экспериментальные данные и результаты их обобщения. Особое внимание уделено анализу конструкции установки, условий проведения опытов и методики эксперимента с точки зрения характерных методических ошибок, допускаемых в экспериментальных исследованиях теплообмена при кипении в свободном объеме (подробно с указанными проблемами можно ознакомиться, например, в работе [2]). В этой связи была тщательно изучена теплоотдача при низких значениях плотности теплового потока, и установлено наличие гистерезиса в поведении кривых кипения (см. рис. 1 и 2), который в данном случае может быть следствием низкой интенсивности и неустойчивости процесса пузырькового кипения в опытах, проводившихся при постепенном (достаточно медленном) увеличении теплового потока. С целью верификации этого вывода планируется проведение специальных экспериментов с визуальными наблюдениями за исследуемой жидкостью.

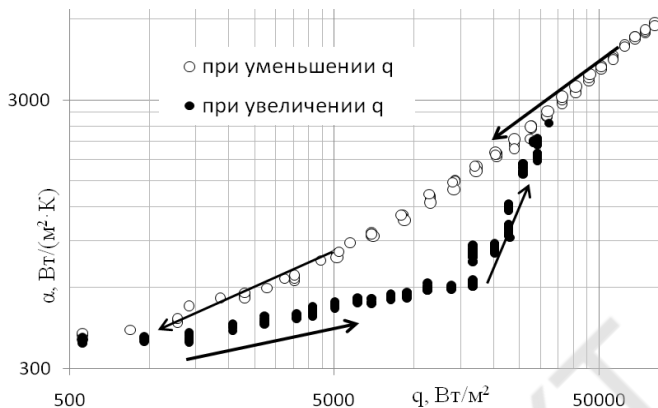


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента теплоотдачи α от плотности теплового потока q для раствора R600a/масло (5 масс. % масла) при температуре $t = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$

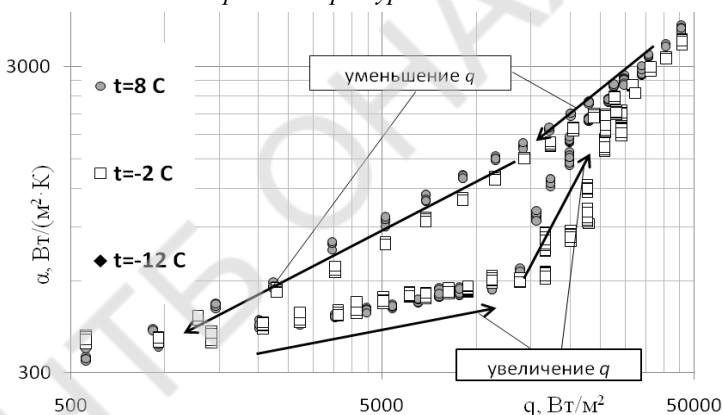


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента теплоотдачи α от плотности теплового потока q для раствора R600a/масло (5 масс. % масла) при различных температурах

Литература

1. Крыжановский С.С., Олейник И.В., Семенюк Ю.В., Косой Б.В., Железный В.П. Экспериментальное исследование процессов кипения растворов хладагент/масло в свободном объеме. Часть 1: Экспериментальный стенд для исследования процессов кипения в свободном объеме. Результаты та-

рировочного эксперимента // Холодильна техніка і технологія. – 2011. – №1. – С. 10-16.

2. Гогонин И.И. Методические ошибки в экспериментальных исследованиях теплообмена при кипении в условиях свободной конвекции // ТВТ. – 2008. – №3. – С. 413-420.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ МАСЛА НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПРЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ В СВОБОДНОМ ОБЪЕМЕ

**Олейник И.В., Мельник А.В., Железный В.П.
ОГАХ, г. Одесса**

Взаимная растворимость масла с хладагентом оказывает существенное влияние как на характеристики эффективности компрессорной системы, так и в целом на работу холодильной машины. Целью настоящего исследования является изучение влияния компрессорного масла на энергетическую эффективность компрессорной системы и интенсивность теплообмена при кипении альтернативных хладагентов в свободном объеме.

В докладе рассмотрена схема циркуляции масла в компрессорной системе при установившихся параметрах цикла. С использованием разработанных в Одесской государственной академии холода методов исследования термодинамических свойств РХМ, были созданы диаграммы давление-энтальпия для реального рабочего тела при различных концентрациях примесей масла перед дроссельным вентилем. С использованием этих диаграмм выполнен анализ термодинамических параметров в различных узлах компрессорной системы и выполнена количественная оценка влияния примесей масла на показатели эффективности компрессорной системы для раствора R-600a/ХМИ Азмол. В табл.1 представлены отношения удельной холодопроизводительности и холодильного коэффициента для реального рабочего тела (раствора хладагент/масло) – RWF и чистого хладагента – REF .

Таблица 1 - Влияние примесей компрессорного масла на энергетические характеристики компрессорной системы

Рабочее тело	Параметр, %	Концентрация масла перед дроссельным вентилем			
		1%	2%	3%	4%
R-600a/ХМИ Азмол	q_{RWF}/q_{REF}	97,88	96,39	94,89	93,4
	$\varepsilon_{RWF}/\varepsilon_{REF}$	91,44	85,03	79,32	74,17

В настоящее время вопросы влияния примесей масла на интенсивность теплообмена являются темой многочисленных публикаций. При этом полученные результаты достаточно противоречивы, а применяемые модели описания процессов теплообмена носят в основном эмпирический характер.

С целью изучения влияния примесей масла на коэффициент теплоотдачи на кафедре инженерной теплофизики ОГАХ спроектирована и создана экспериментальная установка для комплексного изучения теплофизических свойств жидкостей и теплообмена при их кипении в свободном объеме.

Экспериментальные исследования процессов кипения изобутана и растворов изобутан/компрессорное масло ХМИ Азмол были проведены при различных температурах и концентрациях масла. Выполнен анализ полученных результатов исследования, изучены физические закономерности негативного влияния примесей масла на интенсивность теплообмена при кипении растворов хладагент/масло в свободном объеме. Проведенные исследования указывают на существенное понижение коэффициента теплоотдачи при увеличении концентрации масла в хладагенте (Рисунок 1).

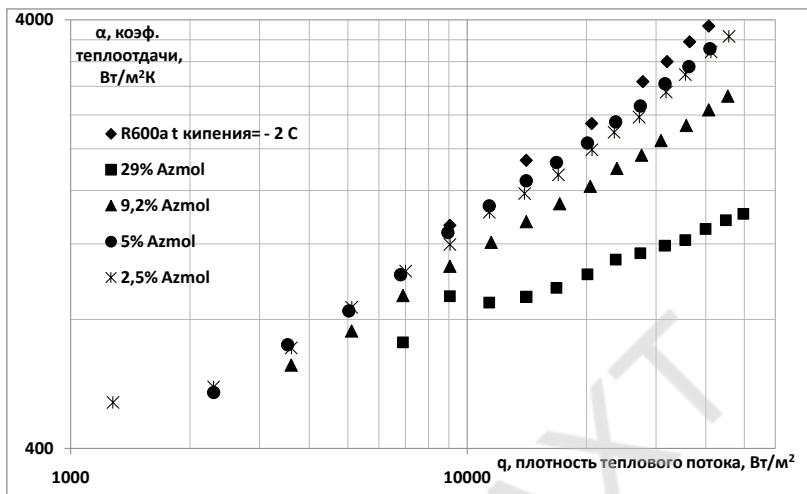


Рисунок 1– Зависимость коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока при температуре кипения растворов хлагент/масло $t_0 = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ВИХРЕВОЙ ЭЖЕКТОРНОЙ СТУПЕНИ ВАКУУМНОГО АГРЕГАТА

Левченко Д.О., Арсеньев В.М., Мелейчук С.С.,
СумГУ, г. Сумы

На базе экспериментальных исследований вихревой эжекторной ступени (ВЭС) проведенных ранее на кафедре технической теплофизики была выполнена работа по оценке кинематического подобия внутренних закрученных потоков с использованием интегрального параметра Φ_{*ex} , предложенного рядом авторов, как параметр крутки, и широко используемого в работах А.А. Халатова и Р.Б. Ахмедова, который для условий входа представляет собой отношение момента количества движения M_{ex}

к осевому количеству движения $K_{A,ex}$ и $K_{П,ex}$ в произвольном сечении в масштабе линейного размера канала R_1 (рисунок 1):

$$\Phi_{*ex} = \frac{M_{ex}}{(K_{A,ex} + K_{П,ex}) \cdot R_1}$$

В результате вычислительного эксперимента было установлено, что начальное значение интегрального параметра крутки для ВЭС существенно выше, аналогичного параметра для автономно работающего эжектора, что не позволяет применять ранее предложенные авторами методики для оценки параметров эжекторной ступени. Оценивая характер изменения величины начального значения параметра крутки, в зависимости от поставленных задач при проектировании ВЭС, можно прийти к следующему выводу: для обеспечения максимума вакуума, требуется увеличение начального значения интегрального параметра крутки. Или, как следует из уравнения для интегрального параметра по условиям входа, уменьшение количества движения пассивного потока на срезе пассивного сопла, что может быть реализовано при радиально-поперечном варианте сопряжения потоков, т.е. в ВЭС с цилиндрической приемной камерой. Однако такое решение приводит к низким значениям коэффициента эжекции, что снижает область эффективного применения ступени. Изменение характеристик вакуумного агрегата с ВЭС возможно за счет перераспределения момента количества движения активного потока и количества движения пассивного потока на срезах соответствующих сопел, т.е. переходя к спутно-осевому варианту сопряжения потоков, что может быть реализовано за счет конической формы вихревой камеры. Таким образом, экспериментальные исследования параметров потока в проточной части ВЭС с конической вихревой камерой, позволит создать более точную физико-математическую модель взаимодействия потоков.

Нахождение среднеинтегральных значений параметров потоков возможно лишь со знанием закона распределения полей скоростей и пространственных углов составляющих вектора абсолютной скорости в указанных сечениях. Однако, сложный характер течения газа в вихревой камере накладывает необходимость учета пространственных углов при определении составляющих вектора абсолютной скорости и при нахожде-

нии газодинамических функций. Для этих целей введен коэффициент учета конусности вихревой камеры Y . Расчетная схема ВЭС с обозначением основных геометрических размеров и характерных сечений представлена на рисунке 1.

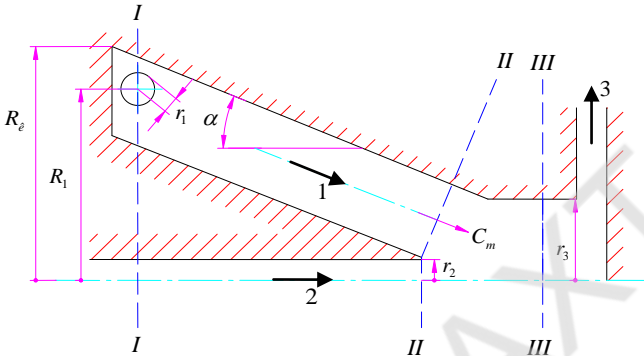


Рисунок 1. Расчетная схема вихревой эжекторной ступени

I , II , III - характерные расчетные сечения вихревой камеры: I - выход активного потока в вихревую камеру, II - выход активного и пассивного потоков в зону смешения, III - вход потока смешения в подводящий патрубков осерадиального диффузора; 1, 2, 3 - направления течения газовых потоков - активного, пассивного и смешанного соответственно; C_m - расходная составляющая вектора абсолютной скорости активного потока в кольцевом сечении конической вихревой камеры; α - средний угол раствора конуса вихревой камеры; R_1 - расстояние от оси эжектора до оси активного сопла; R_e - радиус вихревой камеры; r_1 - радиус выходного сечения сопла активного потока; r_2 - радиус выходного сечения сопла пассивного потока; r_3 - радиус цилиндрической камеры смешения.

Используя результаты экспериментального исследования параметров потока в проточной части ВЭС, были построены регрессионные зависимости и получены расчетные уравнения для нахождения среднеинтегральных параметров потока в характерных сечениях эжектора.

АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДНЬОГО ОХОЛОДЖЕННЯ АЗОТУ

Мілованов В.І., Будріна В.О.

Одеська державна академія холоду

Для використання чистих газів у промисловості, системах життєзабезпечення, медицині і інших напрямках народного господарства, необхідна розробка установок, які здатні забезпечити споживача необхідними середовищами.

Для цього використовують повітродільні установки, - установки для розподілу повітря на компоненти, а саме на: кисень, азот, аргон, неон, ксенон.

Збільшення виробництва продуктів розділення повітря є важливою народногосподарською проблемою. У зв'язку з цим значна увага приділяється інтенсифікації повітродільних установок. Одним з основних елементів зазначених установок є система попереднього охолодження, яка забезпечує необхідну глибину охолодження потоку повітря високого тиску, що направляється в блок розподілу.

Термодинамічним аналізом кріогенних систем встановлено, що СПО, займаючи центральне місце в системі, виконує важливу задачу, яка полягає у підготовці прямого потоку до процесу охолодження. Від ступеня термодинамічної досконалості систем попереднього охолодження залежить глибина охолодження прямого потоку і кількість зріджуемого газу, що в кінцевому рахунку, визначає економічність всієї кріогенної системи.

Система попереднього охолодження являє собою холодильні агрегати, до складу яких, неодмінно, входить компресор, в досліджуваній нами системі - це поршневий фреоновий компресор. СПО на базі якої проводяться дослідження і аналіз працювала на R22, і кінцева температура азоту, яку вдалося отримати на виході з останнього теплообмінника складала -37°C . Але враховуючи те, що R22 поступово виводиться з використання в холодильній техніці через його шкідливий вплив на озоновий шар, метою нашої наукової роботи стало використовувати в системі поперед-

нього охолодження фреони чи суміші фреонів, які не містять в своєму складі R22 і бром охолодити азот до максимально низької температури.

Як показали попередні розрахунки при використанні в системі попереднього охолодження сумішей фреонів R428A, R410A, R116 азот вдалося охолодити до -54°C . Але, при розрахунках неізотермічність використовуваних неазеотропних речовин враховувалася не повною мірою, тому отримані результати не можна вважати остаточними. Робота знаходиться на стадії пошуку та подальших, більш точних розрахунків.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАСЕЛ

Грушко В.О., Геллер В.З.

ОГАХ, г. Одесса

Теплопроводность масло-хладоновых растворов (реальных рабочих веществ холодильных машин) является важной исходной информацией для расчета параметров испарительной и компрессорно-конденсаторной аппаратуры. Исследованию теплопроводности чистых хладонов и их смесей посвящено весьма большое количество экспериментальных и расчетных работ. Итогом этих работ являются, например, программа REFPROP и модель для расчета теплопроводности сложных хладагентов [1]. Согласно этой модели, теплопроводность представлена в форме трех вкладов – теплопроводности разреженного газа, избыточной теплопроводности и увеличения теплопроводности вблизи критической точки.

При моделировании в такой форме теплопроводность пара и жидкости рассматривается независимо друг от друга. Как показано в работе [1], успешная корреляция теплопроводности жидкости может быть основана на модели твердых сфер (RHS). Согласно этой методике, экспериментальные данные преобразуются в “приведенную” теплопроводность, которая представляется в виде универсальной для всех жидкостей корреляции. Эта корреляция содержит два подгоночных параметра (фактор «жесткости» и температурную зависимость молярного объема), которые выделяются из экспериментальных данных для индивидуальных компонентов смеси.

Таким образом, для использования этой методики при расчете теплопроводности масло-хладоновых растворов необходимы данные о теплопроводности холодильных масел. В связи с этим нами проведено экспериментальные исследования теплопроводности ряда минеральных и синтетических масел, работающих с различными хладагентами. Для исследования выбраны минеральные масла марок ХФ 22-24, ХМИ Азмол, ХМИ Агринол и MOGUL (KOMPRIMO) ONC – 68, а также синтетические масла марок Suniso SL 32, Reniso Triton SEZ 32 и Reniso PAG 46.

Опыты проводились в диапазоне температур от 10 до 90°C при атмосферном давлении методом нагретой нити. Описание экспериментальной установки и методики определения теплопроводности методом нагретой нити в стационарном режиме приведено в работе [2].

Литература

1. Пивоварчук Т.И., Лапардин Н.И., Геллер В.З. Теплопроводность смесей хладагентов // *Холодильна техніка і технологія*. – 2007, 8 (94), с. 33-37.
2. Никитин Д.Н., Приходченко Н.А., Грушко В.О., Зброжек В.О. Влияние примесей наночастиц на теплофизические свойства компрессорных масел и давление насыщенных паров растворов изобутан/масло // *Холодильна техніка і технологія*. – 2011, 3 (131), с. 34-35.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ R170/ТРИЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ

**Ивченко Д.А., Лозовский Т.Л., Семенюк Ю.В., Железный В.П.
ОГАХ, г. Одесса**

Накопленный объем информации о свойствах растворов хладагентов с компрессорными маслами (РХМ) позволил получить новые научные результаты, касающиеся как физических представлений о фазовой структуре РХМ, так и аналитического описания их теплофизических свойств. Показано, что применение разработанных расчетных методов сопряжено с решением ряда проблем, среди которых приоритетными являются определение состава поверхностного слоя РХМ и прогнозирование критиче-

ских (псевдокритических) параметров масел и их растворов с хладагентом.

Проведенные исследования поверхностного натяжения РХМ указывают, что поверхностный слой жидкой фазы обогащен хладагентом. Этот научный результат следует учитывать как при определении псевдокритических параметров растворов, так и при термодинамическом моделировании теплофизических свойств. Построение расчетных моделей должно основываться на комплексных экспериментальных исследованиях теплофизических свойств реальных рабочих тел для холодильного оборудования и систем, моделирующих РХМ, т.е. растворов хладагент/модельное масло.

Требования, предъявляемые к модельному маслу, очевидны:

- низкое значение давления насыщенных паров;
- высокое значение молекулярной массы, данные о которой имеются в литературе;
- неограниченная смешиваемость с хладагентом в широком температурном интервале;
- наличие информации о критических параметрах.

В докладе представлены результаты комплексных экспериментальных исследований давления насыщенных паров, плотности, капиллярной постоянной и поверхностного натяжения растворов хладагента RE170 (диметиловый эфир) и триэтиленгликоля – вещества, рассматриваемого как «модельное масло». Указанные свойства растворов RE170/триэтиленгликоль исследованы на установке, реализующей статический метод для изучения фазовых равновесий жидкость-пар, пикнометрический метод для определения плотности и модифицированный дифференциальный метод капиллярного поднятия для измерения капиллярной постоянной. Измерения проведены во всем интервале концентраций при температурах от 10 до 110 °С и давлениях от 0,3 до 3,8 МПа.

На основе разработанных на кафедре инженерной теплофизики ОГАОУ «ИТЭ» малокоэффициентных корреляций, аппроксимирующих полученные экспериментальные данные, выполнен анализ концентрационных и температурных зависимостей изученных термодинамических свойств. Показано, что при моделировании поверхностного натяже-

ния и фазовых равновесий РХМ необходимо учитывать эффект адсорбции летучего компонента (хладагента) в поверхностном слое РХМ. Следовательно, поверхностные свойства РХМ (капиллярная постоянная, поверхностное натяжение и давление насыщенных паров) определяются не только составом жидкой фазы раствора, но и эффективной концентрацией её поверхностного слоя.

По мнению авторов, при изучении теплофизических свойств РХМ должна использоваться предложенная Гуггенгеймом модель границы раздела фаз. В этом случае жидкая фаза РХМ будет состоять из объёмной фазы и поверхностного слоя конечной толщины, обогащенного по сравнению с объёмной фазой хладагентом. Паровая фаза вследствие незначительного парциального давления насыщенных паров масла содержит только молекулы хладагента.

В работе предлагается методика определения эффективной концентрации поверхностного слоя РХМ. Полученные данные о составе поверхностного слоя позволили скорректировать полученные экспериментальные данные о давлении насыщенных паров и поверхностном натяжении растворов RE170/триэтиленгликоль. С использованием полученных экспериментальных и скорректированных данных изучена концентрационная зависимость псевдокритических параметров растворов RE170/триэтиленгликоль.

Несмотря на большое количество экспериментальных и теоретических работ, коэффициент поверхностного натяжения является одним из наименее изученных свойств хладагентов и РХМ. Вместе с тем, существующие методы расчета поверхностного натяжения хладагентов и РХМ остаются недостаточно разработанными и требуют дальнейшего развития. В связи со значительными градиентами плотностей и концентраций на межфазной границе наибольший практический интерес представляет установление связи между поверхностным натяжением и давлением насыщенных паров как для чистых хладагентов, так и для РХМ.

Проведенное исследование показывает, что между приведенными значениями давления насыщенных паров и поверхностным натяжением существует универсальная зависимость. В докладе анализируется форма этой зависимости, а также погрешности прогнозирования поверхностного

натяжения хладагентов и РХМ с использованием информации о давлении насыщенных паров.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ РАСТВОРОВ ХЛАДАГЕНТ-МАСЛО В СВОБОДНОМ ОБЪЕМЕ

Крыжановский С.С., Косой Б.В., Железный В.П.

ОГАХ, г. Одесса

Оценка влияния примесей компрессорных масел в хладагентах на процессы кипения реального рабочего тела является важной научной проблемой, имеющей большое практическое значение. Интенсивность теплоотдачи при кипении растворов хладагент/масло (РХМ) зависит от многих факторов, прежде всего: теплофизических свойств компонентов реального рабочего тела (РРТ), концентрации масла, рабочих параметров в холодильном оборудовании, тепловых нагрузок, степени перегрева поверхности испарителя и т.д.

В настоящее время специалистами предлагаются две концепции изучения влияния примесей масла на процесс теплоотдачи при кипении [1]. Первую концепцию принято назвать методом "масляного загрязнения". При использовании этого метода расчет коэффициента теплоотдачи кипящего раствора хладагент/масло основывается на свойствах чистого хладагента. При этом влияние примесей масла учитывается с помощью поправки, которая в общем случае является функцией концентрации масла. В последние годы интенсивно развивается вторая концепция оценки влияния примесей масла в хладагенте - так называемый «термодинамический» подход [2]. В рамках этого метода считается, что РХМ ведёт себя как зеотропная смесь. При этом рассмотрение интенсивности теплоотдачи при кипении РХМ основывается на его теплофизических свойствах. «Термодинамический» метод ориентирован на разработку обобщенной корреляции для всех растворов хладагент-масло, независимо от природы компонентов. Следует заметить, что этот метод применим только для хорошо смешивающихся веществ, и требует наличия точных данных по свойствам РХМ.

В данной работе представлен анализ результатов сопоставления полученных в лаборатории кафедры инженерной теплофизики ОГАХ экспериментальных данных [3] процессов кипения в свободном объеме растворов изобутана с компрессорным маслом Azmol с наиболее широко представленными в литературе моделями кипения для смесей хладагент-масло. Экспериментальное исследование процесса кипения изобутана и его растворов с маслом Azmol было проведено на установке, подробное описание которой приведено в статье [4]. Исследования кривых кипения R600a и его растворов с маслом были проведены на четырех изотермах: +18, +8, -2 и -12°C. Процесс кипения исследовался при различных массовых концентрациях масла: 2,5; 5; 9,2 и 29%. Диапазон плотностей тепловых потоков изменялся в пределах - 2...150 кВт/м².

Учет влияния масла на кипение РХМ является довольно сложной задачей. В настоящее время рекомендуется несколько эмпирических корреляций для расчета коэффициента теплоотдачи при кипении РХМ. Наибольшее применение нашли корреляции Иванова (1961), Буркхардта и Ханна (1980), Чонгрунгреонд и Зауэра (1980), Джеммана и Дженсена (1984), Митровича (1998). В докладе представлены результаты детального анализа имеющихся моделей кипения. Качество предложенных корреляций оценивалось методом сопоставления рассчитанных коэффициентов теплоотдачи с полученными экспериментальными данными при кипении растворов R600a/Azmol. По результатам проведенного анализа можно констатировать, что ни одна из предложенных моделей не в состоянии качественно прогнозировать коэффициент теплоотдачи РХМ. Предложенные корреляции могут быть использованы только при решении аппроксимационных задач при обработке экспериментальных данных для конкретных РХМ.

Полученные результаты позволяют сформулировать вывод о необходимости дальнейшего развития универсальной «термодинамической» модели кипения растворов хладагент/масло. Эта модель должна учитывать динамику изменения свойств РХМ как в кипящем растворе, так и на поверхности образующихся вблизи нагревателя пузырьков пара. При учете указанных физических аспектов процесса кипения "термодинамическая" модель кипения РХМ будет более универсальной по сравнению с

эмпирическими моделями. Однако для её реализации необходимо располагать достоверной информацией о теплофизических свойствах растворов хладагент/масло, которые могут быть рассчитаны с использованием разработанных на кафедре инженерной теплофизики ОГАХ методов прогнозирования.

Литература

1. Shen B., Groll E.A. Critical literature review of lubricant influence on refrigerant heat transfer and pressure drop. Final report 2003. Purdue University ARTI-21CR/611-20080
2. Kedzierski, M. A. A semi-theoretical model for predicting refrigerant/lubricant mixture pool boiling heat transfer. International Journal of Refrigeration – V26. I3. – P 337-348
3. Крыжановский С.С., Олейник И.В., Семенюк Ю.В., Косой Б.В., Железный В.П. Экспериментальное исследование процессов кипения растворов хладагент/масло в свободном объеме - часть 2: кипение изобутана и его растворов с компрессорным маслом в свободном объеме. Холодильная техника и технология. – Одесса. –2011. – №3. – С. №16-23.
4. Крыжановский С.С., Олейник И.В., Семенюк Ю.В., Косой Б.В., Железный В.П. Экспериментальное исследование процессов кипения растворов хладагент/масло в свободном объеме - часть 1: экспериментальный стенд для исследования процессов кипения в свободном объеме. Холодильная техника и технология. – Одесса. –2011. – №1. – С. №10-16.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ МАСЛА НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПРЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ В СВОБОДНОМ ОБЪЕМЕ

**Мельник А.В., Крыжановский С.С., Железный В.П.
ОГАХ, г. Одесса**

Известно, что взаимная растворимость масла с хладагентом оказывает существенное влияние на теплофизические свойства реальных рабочих тел (растворов хладагент/масло), показатели эффективности компрессорной системы и теплообмен. Однако методы количественной оценки

этого влияния до сих пор остаются недостаточно разработанными. Поэтому целью настоящего исследования является изучение влияния примесей компрессорного масла на удельную холодопроизводительность, работу сжатия в компрессоре, холодильный коэффициент и интенсивность теплообмена при кипении альтернативных хладагентов в свободном объеме. Выполненный анализ основан на достоверной экспериментальной информации о свойствах растворов хладагент/масло и теплообмене при кипении в свободном объеме растворов R600a/ХМИ Азмол полученной на кафедре инженерной теплофизики ОГАХ.

В докладе рассмотрена схема циркуляции масла в компрессорной системе при определенных параметрах термодинамического цикла. Показано, что при теоретическом расчете параметров эффективности компрессорной системы необходимо учитывать количество балластного хладагента растворенного в компрессорном масле на выходе из испарителя. С использованием разработанных в Одесской государственной академии холода методов расчета термодинамических свойств РХМ, были созданы диаграммы давление-энтальпия для реального рабочего тела (RWF) при различных концентрациях примесей масла перед дроссельным вентилем. Выполнен анализ термодинамических параметров в различных точках компрессорной системы и проведена количественная оценка влияния примесей масла на показатели эффективности компрессорной системы для раствора R-600a/ХМИ Азмол при различных значениях фиктивного перегрева. В таблице 1 представлены отношения удельной холодопроизводительности и холодильного коэффициента для реального рабочего тела (раствора хладагент/масло) –RWF и чистого хладагента – REF.

В настоящее время вопросы влияния примесей масла на интенсивность теплообмена являются темой многочисленных публикаций. При этом полученные результаты достаточно противоречивы, а применяемые модели описания процессов теплообмена носят в основном эмпирический характер.

С целью изучения влияния примесей масла на коэффициент теплоотдачи на кафедре инженерной теплофизики ОГАХ спроектирована и создана экспериментальная установка для комплексного изучения тепло-

физических свойств жидкостей и теплообмена при их кипении в свободном объеме.

Таблица 2 - Влияние примесей компрессорного масла на показатели энергетической эффективности компрессорной системы

Рабочее тело	Параметр, %	Концентрация масла перед дроссельным вентилем			
		1%	2%	3%	4%
R-600a/ХМИ Азмол	q_{RWF}/q_{REF}	97,88	96,39	94,89	93,4
	$\varepsilon_{RWF}/\varepsilon_{REF}$	91,44	85,03	79,32	74,17

Экспериментальные исследования процессов кипения изобутана и растворов изобутан/компрессорное масло ХМИ Азмол были проведены при различных температурах и концентрациях масла. Выполнен анализ полученных результатов исследования, изучены физические закономерности негативного влияния примесей масла на интенсивность теплообмена при кипении растворов хладагент/масло в свободном объеме. Проведенные исследования указывают на существенное понижение коэффициента теплоотдачи при увеличении концентрации примесей масла в хладагенте (Рисунок 1).

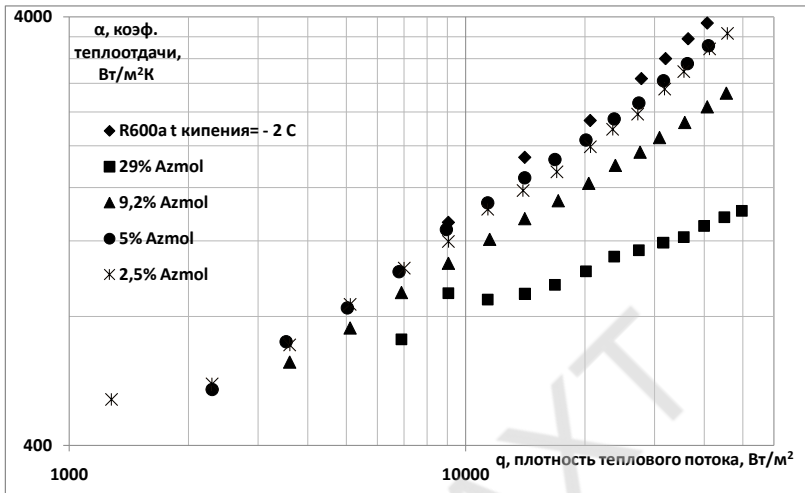


Рисунок 1– Зависимость коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока при температуре кипения растворов хладагент/масло $t_0 = -2\text{ }^\circ\text{C}$

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОФЛОИДОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

**Милованов В.И., Балашов Д.А.
ОГАХ, г. Одесса**

Международные законодательные нормы относительно выведения из оборота веществ, разрушающих озоновый слой, побуждают к поиску новых экологически безопасных рабочих веществ. Основным препятствием на пути внедрения озонобезопасных фреонов стало их влияние на глобальное потепление. Киотский протокол ограничивает внедрение хладагентов с высоким коэффициентом глобального потепления. Выходом является повышение энергетической эффективности холодильной машины путем повышения COP, это позволяет существенно снизить косвенный парниковый эффект холодильной машины.

Использование нанофлюидов позволяет существенно повысить тепломассообменные характеристики хладагента, уменьшить температурные перепады на поверхностях конденсатора и испарителя и в результате снизить отношение давлений кипения и конденсации, а следовательно и потребляемую холодильной машиной электрическую мощность.

Теплопередача является одним из наиболее важных процессов в промышленности. Например, в современных телекоммуникациях требуется улучшенная функциональность систем управления. В таких случаях компания тратит больше, чем 50% общей электроэнергии на охлаждение электроники. Обычные системы воздушного охлаждения неприменимы из-за высокого уровня шума. Десятки методов, таких как миниканалы, микроканалы, диэлектрическое охлаждение, кипение с принудительной конвекцией ограничены в снятии теплоты до 1000 Вт/см^2 . Некоторые из электронных систем, такие как оптические приборы с высоким тепловым потоком, рентгеновские аппараты высокой мощности и лазеры требуют снятия теплового потока 2000 Вт/см^2 . В промышленном применении находятся такие теплоносители как хладагенты, вода, масло, этиленгликоль и т.д. Увеличение теплопередачи требуется всегда и скорость работы этих устройств влияет на скорость охлаждения. Новые технологии и улучшенные жидкости с большим потенциалом для улучшения характеристик потока и термических характеристик являются двумя вариантами для улучшения теплопередачи и в статье рассматриваются жидкости.

Развитие нанотехнологии в последние несколько десятилетий привело к созданию нового поколения теплоносителей. Одной из последних инноваций в этой области является искусственная коллоидная смесь базовой жидкости и металлических наночастиц (1-100 нанометров), называемая нанофлюидом. Эти частицы повышают коэффициент теплопроводности и конвекцию, позволяя улучшить теплопередачу.

Ранние версии коллоидных растворов, такие как микрофлюиды стремились к образованию осадка и вызывали эрозию на движущихся частях. Однако нанофлюиды являются неагломерирующимися моночастицами, которые могут повысить теплопередачу на 50 % и более, даже когда отношение объемов наночастиц к жидкости меньше 0.3%.

Имеется высокий потенциал для улучшения теплопередачи и практического применения. Это дает возможность инженерам разработать компактное и эффективное холодильное оборудование. В нескольких опубликованных статьях показывается, что коэффициент теплопередачи наножидкостей намного выше, чем у обычных жидкостей и существует лишь небольшое падение давления. Основная причина улучшения теплопроводности в том, что распределенные частицы улучшают теплопроводность жидкости и их хаотическое движение повышает турбулизацию потока, что приводит к интенсификации теплообмена. Конвективная теплопередача увеличивается с увеличением концентрации частиц и числа Рейнольдса. Кроме того, доступные экспериментальные данные ограничены и не могут точно спрогнозировать изменение теплопередачи. Более того, доступно лишь несколько поправок для точного прогноза производительности. Следовательно, необходимы дальнейшие исследования по конвективному теплообмену и больше теоретических и практических работ для ясного понимания и прогноза гидродинамических и термических характеристик.

ВИКОРИСТАННЯ ГТУ У ПАРОГАЗОВОМУ ЦИКЛІ

Буданов В.О., Ворона К.С.

ОГАХ, г. Одесса

Забезпечення електроенергією й теплом у сучасному світі є основою добробуту й розвитку суспільства й будь-якої держави, що визначаються, у першу чергу, безпекою й надійністю систем теплоенергетики.

Закономерності термодинаміки вказують, що можливість підвищення ККД при спалюванні палива забезпечується, у першу чергу, різницею температур у тепловому циклі - максимальної й мінімальної. Мінімальна - це навколишнє середовище, максимальна - це та, яку ми можемо реалізувати при згорянні палива. Виходить, чим вище максимальна температура, тим природно вище ККД. Розвитком енергетики за 100 років досягнутий рівень максимальної температури пари складає 600°C при тиску пари до 25 МПа, що дозволило у кращих парових турбінах одержати ККД навіть в

ідеальному циклі рівний тільки 67 %, а в реальному циклі - усього 38–40 %. Але при підвищенні температури до 1300°C ККД циклу досягає вже 82 %. Таким чином, перехід на більш високотемпературний, не паровий цикл, дозволяє суттєво підвищити ККД. І таким засобом збільшення температури в робочому циклі установки стали газові турбіни.

Газотурбінні установки (ГТУ) винайдені давно, але активно використовуються вони в енергетиці в останні десятиліття. Особливо ефективними виявилися комбіновані, так звані парогазові установки (ПГУ), де газова турбіна - перший, високотемпературний ступінь використання тепла. Якщо на вихідній системі ГТУ поставити водяний казан для одержання пари високого тиску з температурою 150–170°C, потім інший - для пари низького тиску, потім гарячої води, теплої води, то, удосконалюючи в такий спосіб цикл по лінії відводу тепла, можна використовувати до 92–93 % тепла, яке знаходиться у паливі.

Застосування газових турбін вимагає дуже невеликих обсягів будівельних робіт на існуючих ТЕС. Вони в багато разів легше парових турбін і займають набагато менше місця, оскільки в них немає великогабаритного й важкого парового господарства (казани, насоси й ін.). Керування ними набагато легше автоматизувати, тобто такі станції вимагають менше обслуговуючого персоналу й т.п.

У парогазових установках, які зараз інтенсивно будуються в усьому світі, досягаються температури газу до 1300°C і вже сьогодні експлуатуються агрегати з електричним ККД 57–58 %. Подальший розвиток парогазових установок з додаванням на вході в газову турбіну високотемпературних паливних елементів дозволить досягти величини електричного ККД порядку 70 %.

Рідке паливо бензин, дизельне паливо, авіагас поки залишиться основними, при цьому людство інтенсивно освоює екологічно більш вигідні палива: у першу чергу - метан у зрідженому стані й найкраще паливо - водень.

Природний газ краще органічне паливо із широко використовуваних, тому що в ньому менше вуглецю й більше водню, чим у нафті й тим більше у вугіллі. У зв'язку із цим у продуктах його згоряння менше вуглекислого газу (CO₂) і практично немає сірчистої складової (SO_x). При його

використанні легше позбутися сажі (С) і окису вуглецю (СО), і максимально знизити викид шкідливих окислів азоту (NOx). Водень по тим же причинам - екологічно максимально чисте паливо.

З метою визначення параметрів, які впливають на техніко-економічні показники ГТУ проведено порівняльне дослідження впливу на ККД газотурбінної установки параметрів роботи компресора й турбіни і різних видів палива.

Розрахунки виконували для турбіни на базі ГТУ-4П, що призначена для приводу генераторів газотурбінних електростанцій. В якості палива для ГТУ використовували природний газ. Під час розрахунків визначали ступінь впливу зміни параметрів компресора і турбіни на загальні показники роботи ГТУ. Виявлено, що збільшення ККД компресора призводить до зниження температури газу за компресором, суттєво впливає на процес підведення тепла в камері згоряння і на ККД ГТУ в цілому. В той же час збільшення ККД турбіни веде до зменшення температури за турбіною, що призводить до зменшення кількості тепла, яке передається повітрю у регенераторі та одночасно до збільшення кількості тепла, що підводиться у камері згоряння. В результаті проведеного аналізу роботи ГТУ виявлено, що підвищення ККД турбіни на 2% призведе до збільшення загального ККД установки на 5%. У той же час аналогічний ріст ККД компресора призводить до збільшення загального ККД установки тільки на 2,4%.

Таким чином, в результаті проведеного аналізу визначені шляхи подальшого вдосконалення ГТУ з метою підвищення техніко-економічних показників її роботи.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

Зайнуллина Н.С., Туманский В.И.

ОГАХ, г. Одесса

В работе «Механика разрушения» рассматриваются 2 подхода к проблемам механики разрушения.

В первом направлении предполагается, что разрушение происходит тогда, когда определенная комбинация таких параметров, как напря-

жение, деформация и т.д. достигает своего критического значения. В этом случае проблема прочности решается подбором соответствующих критериев разрушения называемых теориями прочности.

Второе направление рассматривает усталостное разрушение как следствие накопления в материале необратимого повреждения под действием многократного приложения повторно-переменных нагрузок. Процессы усталостного разрушения рассматриваются с позиции второго начала термодинамики, согласно которому трещина развивается в случае, когда свободная энергия в изолированной системе уменьшается.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ХЛАДАГЕНТА R600A

Милованов В.И., Костецкий Д.В.

Одесская государственная академия холода

С момента внедрения и подписания Монреальского протокола все страны, производившие холодильную технику и холодильные агенты (фреоны), взяли курс на ретрофит.

В качестве заменителей привычных фреонов был выбран ряд веществ, значительно выигрывающих по части озонобезопасности, а именно: изобутан(R600a), аммиак(R717), углекислота(R744), пропан(R290), а также не содержащие хлор и бром фреоны (R134a, R125, R152) и их смеси. Но с учётом высокого влияния фреонов на парниковый эффект большее предпочтение отдаётся природным хладагентам.

Ввиду практической невозможности применения аммиака в малых холодильных компрессорах нами рассматривается перспектива применения углеводородов и их смесей в качестве альтернативы устаревшим фреонам.

В европейских странах и Америке в последние годы в качестве хладагента малых холодильных машин получил широкое распространение изобутан (R600a). Большая часть бытовой и торговой холодильной техники, выпускаемой в Европе, в том числе и в Украине, работает на изобутане. Основным недостатком изобутана - горючесть и взрывоопасность, в связи с чем он и был запрещён для использования в бытовой технике в США, а европейские концерны направили русло своих конструкторских работ на разработку безопасных хладагентов.

торских и инженерных работ на совершенствование и повышение надёжности работы малых холодильных машин, работающих на R600a, и уменьшению объёма заправки этого хладагента.

По сравнению с традиционно используемым в малых холодильных машинах R12 изобутан несколько уступает в части объёмной холодопроизводительности, поэтому при переводе малых холодильных машин на работу на изобутане обычно применяют компрессоры с увеличенной объёмной производительностью.

Изобутан применим для работы холодильной машины в средне-температурном режиме, а для вывода машины на низкотемпературный режим работы требуется понижение температуры кипения хладагента. Одним из путей понижения температуры кипения изобутана, и расширения диапазона рабочих температур работы малой холодильной машины является добавление пропана (R290).

Проведенные нами предварительные расчёты показывают, что добавление ряда концентраций пропана в изобутан в диапазоне 5-30%, значительно понижает температуру кипения, выводя работу машины на низкотемпературный режим и повышает COP холодильной машины, но вместе с тем приводит к росту температуры конца сжатия в компрессоре которую, безусловно, необходимо строго контролировать.

Анализ проблемы ретрофита и выполненные расчёты показывают перспективность применения данной смеси в качестве рабочего тела в малых холодильных компрессорах, и с точки зрения расширения диапазона рабочих температур холодильной машины, и с точки зрения энергосбережения, и с точки зрения охраны окружающей среды.

НОВЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ

**Маркварт А. С., Железный В.П., Семенюк Ю.В., Шестова Т.Д.
ОГАХ, г. Одесса**

В настоящее время отсутствуют термодинамически согласованные методы прогнозирования различных теплофизических свойств веществ в широком интервале параметров состояния. Для решения этой задачи ав-

торы доклада предлагают использовать основные принципы скейлинга (SP – skaling principles). Использование аналитических соотношений между критическими показателями и амплитудами уравнений скейлинга будут обеспечивать термодинамическую согласованность прогнозируемых свойств веществ. Недавно проведенные исследования показывают, что некоторые критические амплитуды аналитически связаны с мольным объемом и структурно-аддитивными комплексами, которые широко применяются в структурных моделях (QSPR – quantitative structure-property relations) прогнозирования свойств веществ.

Целесообразность применения принципов скейлинга при решении задач прогнозирования свойств веществ обусловлена следующими обстоятельствами:

- использование в корреляциях расширенного скейлинга универсальных кроссоверных функций позволяет адекватно описывать свойства веществ на линии насыщения практически во всей области существования жидкой фазы;

- применение принципа двухпараметрической универсальности (универсальных соотношений между критическими индексами и универсальных комплексов критических амплитуд) обеспечивает термодинамическую согласованность рассчитываемых теплофизических свойств веществ, повышает универсальность применяемых корреляций.

В результате проведенных исследований теплофизических свойств алканов и их галоидопроизводных установлен ряд новых соотношений между критическими параметрами, изинговыми значениями парахора и мольной рефракции, критическим мольным объемом и мольным объемом жидкой фазы, переохлажденной до 0 К. Использование универсальных корреляций между критическими параметрами, амплитудами и структурно-аддитивными свойствами (комплексами) обеспечивает термодинамическую согласованность рассчитываемых теплофизических свойств веществ.

Предложенные корреляции для прогнозирования термодинамических свойств веществ на линии насыщения в широком интервале температур и расчета критических (псевдокритических) параметров отвечают нескольким требованиям:

- незначительное количество параметров, имеющих определённый физический смысл;
- высокие экстраполяционные возможности применяемых корреляций;
- инвариантность значений параметров корреляций относительно диапазона используемой эмпирической информации.

В докладе показано, что полной мере указанным требованиям отвечают уравнения расширенного скейлинга с универсально изменяющимися эффективными показателями степени. Следует отметить, что подобные методы прогнозирования критических параметров для чистых веществ ранее уже применялись авторами доклада. Отличие предлагаемых методик от ранее опубликованных заключается в том, что они предназначены для определения псевдокритических параметров термически нестабильных смесей, для которых отсутствует полная информация об их структуре, составе и молекулярной массе.

В рамках предлагаемой методики прогнозирования теплофизических свойств веществ были рассчитаны свойства растворов хладагент/масло (РХМ) и газовых конденсатов. Параметры использовавшихся при этом скейлинговых корреляций находились на основе ограниченной исходной информации о свойствах индивидуальных веществ. При выполнении расчетов для определения псевдокритических параметров РХМ предлагается использовать наиболее доступную информацию – о давлении насыщенных паров, и плотности РХМ – с привлечением малоконстантных уравнений скейлинга.

В настоящей работе для расчета псевдокритических параметров газовых конденсатов были использованы данные о характеристических параметрах и мольном объеме при температуре кипения - V_{nb} . Наличие информации о мольном объеме газовых конденсатов при нормальной температуре кипения позволяет с использованием полученных корреляций между структурно-аддитивными комплексами рассчитать термические свойства, поверхностное натяжение и вязкость в широких интервалах параметров состояния.

Помимо рассмотренных выше принципов прогнозирования теплофизических свойств различных классов веществ и растворов на линии кипения в работе предложены новые методики прогнозирования термичес-

ких свойств веществ в жидкой и газовой фазах. Показано, что амплитуда для плотности на линии кипения является одним из коэффициентов уравнения Кессельмана П.М., которое широко применяется для прогнозирования термических свойств веществ в жидкой фазе. Установлено, что изинговое значение парахора связано с параметрами потенциала Леннарда-Джонса и вторым вириальным коэффициентом. Таким образом, наличие доступной информации о характеристических параметрах на линии кипения позволяет с достаточной для практики точностью прогнозировать теплофизические свойства веществ в широкой области параметров состояния. Предложенные методы прогнозирования теплофизических свойств веществ прошли детальную апробацию для различных классов веществ и растворов, включая растворы хладагент/масло.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ХОЛОДИЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ

Буданов В.А.

Одесская государственная академия холода

Масло в холодильных компрессорах используют для разделения трущихся поверхностей с целью снижения их износа, который определяется трибологическими, химическими и тепловыми факторами. Это в основном синтетические масла. Синтетические масла, используемые с HFC и натуральными хладагентами, изготавливают из карбоновой кислоты и спирта. Вторичным продуктом реакции синтеза масла является вода, которая удаляется и получается масло с заданными свойствами. Поэтому такие масла адсорбируют в 10 раз больше влаги, чем минеральные. Предел поглощения свободной влаги для синтетических масел (POE) составляет около 1500 ppm. При концентрации влаги 100 ppm и более, по данным большинства производителей компрессоров, масло вступает в обратную реакцию с водой с образованием органической кислоты и спирта. В результате этого масло приобретает свойства растворителя и вымывает твердые частицы из различных частей компрессора. Частицы, попадая в зону трения, нарушают гидродинамический режим смазки и увеличивают

интенсивность абразивного износа сопрягаемых деталей. Исследования производителей компрессоров показывают высокую концентрацию частиц в масле размером от 2 до 20 мкм, большинство из которых имеет размер от 2 до 10 мкм. Геометрические, физико-механические характеристики частиц и их концентрация оказывают большое влияние на долговечность холодильного компрессора. По данным Макферсона долговечность компрессора увеличивается вдвое, если размеры частиц не превышают 3–5 мкм. При использовании современных синтетических и натуральных хладагентов, в частности CO₂, при работе компрессора возникают значительные механические нагрузки в парах трения, а высокая растворимость газа в применяемых маслах снижает трибологические свойства масла. Таким образом, современные холодильные масла должны отвечать особым требованиям к вязкостным и противоизносным характеристикам и иметь хорошую смешиваемость с хладагентом для надежного возврата масла из системы.

Из существующего многообразия новых синтетических холодильных масел следует отметить специально модифицированные полиэфирные масла (Polar-POE) для использования в системах, работающих на CO₂, а для использования в системах с HFC хладагентами масла BITZER (BSE 32, BSE 55, BSE 170) и Mobil EAL Arctic Series. Эти масла обладают высоким индексом вязкости от 90 до 143 (DIN ISO 2909).

Противоизносные характеристики масел отражают результаты испытаний на машине трения Фалекса, по критической нагрузке заедания от 4300 до 6400 Н (ASTM D3233) и определению диаметра пятна износа при испытаниях на 4-шариковой машине от 0,7 до 0,83 мм при 200 Н, 20 с⁻¹, 60°C, в течении 1 ч. (ASTM D4172). Такие характеристики масел позволяют обеспечить необходимую толщину слоя смазки с благоприятными вязкостными параметрами. Уменьшить влияние на долговечность компрессора наличия влаги и микрочастиц в масле позволит также использование больших и мелкочаеистых («молекулярное сито») фильтров – осушителей.

Таким образом, для повышения долговечности холодильных компрессоров в современных условиях эксплуатации необходимо использовать синтетические масла с высокими трибологическими параметрами и

обеспечить эффективную очистку масла с помощью различных фильтров, которые следует устанавливать как на линию нагнетания хладагента, так и на масляную линию.

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОМБИНИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ХОЛОДИЛЬНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Гурский А.А.

Одесская государственная академия холода

Холодильная турбокомпрессорная установка (ХТУ) в состав которой входит центробежный компрессор, относится к объектам с большим энергопотреблением. Один из путей снижения энергопотребления данной установки связан с применением комбинированного регулирования производительности центробежного компрессора одновременно двумя способами, в частном случае по углу установки лопаток диффузора и по скорости вращения вала [1]. Были разработаны модели координирующей системы управления (КСУ) ХТУ и системы автоматического управления (САУ) ХТУ с расчетным блоком (РБ), реализующие комбинированное регулирование производительности центробежного компрессора и стабилизацию наиболее важных технологических параметров, таких как давления кипения $P_{кип}$ и конденсации P_K [2]. Модели были разработаны средствами среды моделирования «Дискретно-непрерывная сеть».

Отличительной особенностью КСУ ХТУ от САУ ХТУ с РБ является обратная связь по невязке регулируемого соотношения между углом установки лопаток диффузора и скоростью вращения вала, и наличие эффекта разделения движения.

Было проведено имитационное моделирование, в результате которого получены графики переходных процессов по давлениям кипения $P_{кип}$, конденсации P_K , и по невязке регулируемого соотношения φ .

Проведенный анализ результатов имитационного моделирования КСУ ХТУ и САУ ХТУ с РБ показал что:

- разработанные системы обеспечивают более высокие показатели эффективности функционирования, чем типовые САУ ХТУ;

- система с РБ желаемо функционирует при медленном изменении нагрузки на испарителе связанном, например, с суточными колебаниями температуры;
- при быстром изменении нагрузки на испарителе у КСУ лучшие показатели эффективности функционирования, чем у САУ с РБ благодаря обратной связи по невязки регулируемого соотношения и эффекту разделения движения.

На основании анализа результатов имитационного моделирования можно установить принципиальную пригодность разработанных систем управления в зависимости от условий эксплуатации.

Литература

1. Бухарин Н.Н., Евсафьев В.Л., Ковалкин И.К. Совершенствование системы регулирования холодильного центробежного компрессора. //Холодильная техника. – 1992. – №9 – С. 7–9.
2. Денисенко В.А., Гончаренко А.Е., Козорез А.И., Гурский А.А. Комбинированное регулирование производительности турбокомпрессора холодильной установки. // Холодильная техника и технология. – Одесса: ОГАХ, 2007. – № 6. – С. 68–71.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В КАЧЕСТВЕ ХЛАДАГЕНТА В МАЛЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИНАХ

Гнатенко И.И.

Одесская государственная академия холода

В различных системах охлаждения находят всё более широкое применение так называемые природные хладагенты: углеводороды, диоксид углерода и аммиак. Это вызвано ограничением и последующим запретом использования озоноразрушающих веществ в соответствии с Монреальским протоколом (1987 г.), а также внесением в него в 1990-ые годы ряда поправок и корректив.

В настоящее время уникальные характеристики диоксида углерода заинтересовали специалистов по холодильной технике своими значительными экологическими и экономическими преимуществами. Диоксид уг-

лерода – природный хладагент, безопасный для окружающей среды, с малым потенциалом глобального потепления и высокой объемной холодопроизводительностью. Он широко распространен, дешев, не горюч, а также совместим с минеральными маслами, электроизоляционными и конструкционными материалами. По сравнению с другими жидкостями, которые традиционно используются в качестве хладагентов, CO_2 (R744) имеет низкую критическую температуру (31°C), сравнительно высокую температуру тройной точки (-56°C), большое давление в тройной точке (более $0,5\text{МПа}$) и критическое давление ($7,39\text{МПа}$). Последние исследования показали, что холодильные системы могут достичь достаточно высоких энергетических показателей при использовании диоксида углерода.

Циклы холодильных машин, работающих на диоксиде углерода, могут осуществляться как в докритической, так и в надкритической областях.

В докритическом цикле диапазон давлений находится в пределах $10\text{--}30$ бар. Условия подобны условиям в традиционных холодильных системах. Возможно использование стандартных компонентов холодильных машин.

В транскритическом цикле процессы лежат как в надкритических, так и докритических областях. Давление может изменяться до 100 и более бар. Условия значительно отличаются от традиционных систем. Требуется разработка новых компонентов холодильных систем. Холодильный коэффициент системы с транскритическим циклом, работающей на CO_2 , выше чем у традиционных систем, работающих на фреонах.

Транскритические циклы на CO_2 в настоящее время используются для создания холодильных машин с малой холодопроизводительностью, например, для систем транспортного кондиционирования, тепловых насосов малой производительности и холодильных систем супермаркетов.

Учитывая термодинамические свойства и особенности CO_2 , в настоящее время в мире на его основе создаются эффективные низкотемпературные системы охлаждения. С точки зрения энергетической эффективности и уровней давления значительно более выгодные области применения можно найти в промышленных и крупных коммерческих холодильных установках. В них CO_2 может применяться либо как хладагент

нижней ветви каскадной холодильной машины, либо как хладоноситель. Начато его применение для систем кондиционирования воздуха автомобилей и поездов. Другими потенциальными областями применения, в которых сверхкритические процессы могут быть даже полезны, являются тепловые насосы для получения горячей воды в коммунально-бытовом водоснабжении или в технологических процессах осушения. Тепловые насосы для коммунально-бытового водоснабжения уже поступили в массовое производство и широко применяются.

Исследовательские и конструкторские работы ряда последних лет перешли в стадию практического применения CO_2 в холодильных машинах. Уникальность этих машин состоит в том, что для них не может быть использовано существующее базовое холодильное оборудование - компрессоры, теплообменные аппараты и другое, а должно быть создано новое.

Наиболее сложным и важным элементом холодильной машины, в которой CO_2 используется в качестве хладагента, является компрессор. До сих пор в холодильных системах на CO_2 использовались поршневые и винтовые компрессоры открытого типа. Однако, высокий уровень рабочих давлений налагает особые требования и, тем самым, удорожает конструкцию такого компрессора. В связи с этим в последнее время возрос интерес к полугерметичным компрессорам. Их применение позволяет значительно удешевить перспективные холодильные установки коммерческого назначения.

Результаты исследований показали, что перспективы дальнейших разработок в области применения полугерметичных поршневых и винтовых компрессоров в холодильных системах на CO_2 очень благоприятны. Современная базовая конструкция компрессоров с дополнительными средствами обеспечения безопасности вполне допускает функционирование холодильной машины при более высоких значениях рабочего давления. Более того, с оптимальной адаптацией компонентов в пределах одного модельного ряда компрессоров специальные требования для CO_2 по механической нагрузке, мощности и охлаждению мотора могут быть обеспечены.

Высокая объемная холодопроизводительность диоксида углерода позволяет снизить описанный объем компрессора, уменьшить количество циркулирующего хладагента, уменьшить проходное сечение трубопроводов, существенно повысить компактность системы, что приводит к уменьшению массы системы ее габаритных размеров и себестоимость изготовления.

Однако перед широким распространением холодильных систем на CO₂ необходимо провести долговременные испытания опытных образцов таких машин с целью накопления и обобщения практического опыта эксплуатации полугерметичных CO₂-компрессоров и других элементов холодильной установки.

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВОЙ РАССЛОЕНИЯ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ НАНОФЛЮИДОВ

**Никитин Д.Н., Борзенков П.В., Никулин А.Г., Железный В.П.
ОГАХ, г. Одесса**

Взаимная растворимость масла с хладагентами оказывает существенное влияние на работу холодильной машины. Основное противоречие при выборе масла для компрессионной холодильной машины заключается в том, что лучшие условия смазки и уплотнение сопрягаемых деталей компрессоров достигаются при использовании масел с низкой растворимостью. В то время как нормальная циркуляция масла в системе обеспечивается в результате хорошей взаимной растворимости компонентов растворов хладагент/масло (РХМ). Растворенный в масле холодильный агент уменьшает вязкость растворов хладагент/масло, что способствует удалению примесей масла из испарителя. При достижении критической температуры расслоения раствор может разделяться на два слоя имеющих различные концентрации. Этот эффект приведет к непредсказуемому изменению интенсивности теплообмена в испарителе.

Одним из возможных механизмов измерения параметров кривой расслоения РХМ является включение в состав рабочего тела наночастиц. Кроме влияния на растворимость хладагент/масло, примеси наночастиц в

рабочем теле приводят к увеличению параметров энергетической эффективности и интенсифицируют теплообмен в испарителе.

Проведенные исследования показывают, что примеси наночастиц в маслах приводят к изменению молекулярной массы и физико-химических свойств, включая взаимную растворимость растворов хладагент/ масло. Примеси наночастиц в реальных рабочих телах приводят к уменьшению поверхностного натяжения, увеличению давления насыщенных паров, увеличению теплопроводности. Указанные эффекты способствуют повышению эффективности холодильного оборудования. Однако устойчивость нанофлюидов остается одной из основных проблем внедрения нанохладагентов в промышленность.

Целью настоящей работы является изучение растворимости модельных систем и оценка влияния наночастиц на параметры равновесия жидкость-жидкость. Для решения указанных задач была спроектирована и создана экспериментальная установка, которая позволяет производить изучение кривой расслоения в диапазоне температур от -40 C^0 до $+100\text{ C}^0$. В качестве объекта исследования была выбрана хорошо экспериментально изученная модельная система метанол-циклогексан. В докладе анализируются методы приготовления стабильных нанофлюидов. Выполненные исследования показывают, что примеси наночастиц TiO_2 в компонентах раствора приводят к изменению параметров кривой расслоения.

Для обработки полученных экспериментальных данных на линиях фазовых равновесий жидкость-жидкость нанофлюидных бинарных систем впервые были использованы уравнения расширенного скейлинга.

Одним из возможных методов изучения устойчивости наномасел является изучение динамики изменения их молекулярной массы. Исследуемые образцы наномасел были получены в результате ультразвукового диспергирования наночастиц TiO_2 в компрессорных маслах. Технические характеристики наночастиц приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики наночастиц TiO_2

Цвет	Состав наночастиц		Удельная поверхность, $\text{m}^2/\text{г}$	Средний размер, нм
	Рутил, %	Анализ, %		
Серо-белый	28	72	49	30

Визуальные наблюдения за полученными образцами показывают, что со временем происходит процесс кластеризации. Однако для разработки технологии получения устойчивых наномасел требуется не качественная, а количественная оценка процессов кластеризации наночастиц в маслах различного химического состава и вязкости.

Для изучения динамики изменения молекулярной массы приготовленных по различным технологиям наномасел был спроектирован и создан стенд, в котором реализуется криоскопический метод. Охлаждение образца наномасла осуществлялось в медной измерительной ячейке, которая располагалась в вакуумной камере, погруженной в сосуд Дьюара, где она охлаждалась парами азота. Для регулирования скорости охлаждения образца на поверхности вакуумной камеры установлен нагреватель, мощность которого регулируется стабилизированным источником питания Б5-47. Температура исследуемых образцов измерялась платиновым термометром сопротивления с использованием мультиметра Time Electronics 5065.

Анализ полученных термограмм показывает, что со временем температура фазовых переходов жидкость–твердая фаза исследуемых растворов гептан/наномасло уменьшается, что свидетельствует о кластеризации наночастиц в образце наномасла. Однако скорость изменения концентрации со временем уменьшалась и при достижении концентрации наночастиц около 0.0005% образец наномасла оставался практически стабильным.

Одной из возможных причин такого поведения наномасел может являться неоднородный размер наночастиц. Более детальное исследование этого вопроса будет проведено с использованием методов лазерной корреляционной спектроскопии.

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУР ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТИ ЭФИРОВ – НОВЫХ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

Поляк А.С.

Одесская государственная академия холода

История появления систем охлаждения насчитывает несколько веков. В 1834 году появилась первая холодильная компрессионная машина. В первой холодильной машине использовался хладагент этанол (диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$). Со временем в качестве хладагента начали использовать воду, и метиловый эфир, аммиак, углекислый газ и двуокись серы, различные эфиры и другие вещества, которые весьма токсичны и опасны для человека. На сегодняшний день в мире синтезировано более четырех десятков различных фреонов, отличающихся по свойствам и химическому составу. Основные требования, которые предъявляются к фреонам, - это минусовая температура кипения при атмосферном давлении, конденсация при низком давлении, а также высокая холодопроизводительность. Среди предлагаемых рынком альтернативных хладагентов имеются композиции, содержащие пожароопасные вещества – R152a, R32, R142b, R290, R600, R600a, R717. В ряде случаев смеси, содержащие эти компоненты, пожароопасны, хотя и обеспечивают высокую энергетическую эффективность оборудования. Эфиры, как органические вещества, имеют более низкую нормальную температуру кипения по сравнению с водяным паром и используются в качестве рабочих тел в циклах Ренкина для производства электроэнергии. В сложившейся ситуации принципиальным становится вопрос – пожароопасность, с одной стороны, и высокая энергетическая эффективность холодильной машины, с другой стороны, скажутся на эксплуатации холодильного оборудования.

Наименее исследованным показателем безопасности рабочего вещества является воспламеняемость[1;2;3]. В работе рассмотрен подход к прогнозированию воспламеняемости органических рабочих тел на основе искусственных нейронных сетей, использующих в качестве входной информации дескрипторы молекулярной структуры. За основу взяты 50 углеводородных эфиров с известным для них значением воспламеняемости, а прогнозировали воспламеняемость различных фторированных эфиров и

их конфигураций. Точка воспламенения (FP) была коррелирована с молекулярной структурой компонентов при помощи набора дескрипторов: 1) molecular flexibility (показатель эластичности) – основан на структурных свойствах 2) molecular refractivity (показатель преломления)- m^3/mol – вычисляется методом, который описали Ghose and Crippen (1986) – это комбинация измерений объема, размера и поляризуемости 3) AlogP98 (коэффициент разделения) – сумма числа атомов каждого типа, умноженной на набор коэффициентов 4) нормальная температура кипения (T_b,K). Расчет этих дескрипторов производился с помощью программы MS Modeling. Для нахождения соотношения молекулярная структура – точка воспламенения были построены искусственные нейронные сети. В данном случае, на основе известной информации о входных данных – молекулярных дескрипторах для небольшой выборки известных веществ (углеводородных эфиров), которые сложным образом связаны с выходной величиной – воспламеняемостью (FP, K), предсказать температуру воспламенения для фторированных эфиров, только на основе известных данных о молекулярных дескрипторах. Все расчеты проводили в среде Matlab Neural Network Toolbox[4]. За основу брали 50 углеводородных эфиров и в первом случае предсказывали воспламеняемость для фторированных эфиров с известными значениями нормальной температуры кипения. Среднее значение отклонений от экспериментальных значений составило: 1.5% по обучающей выборке и 0.4% по тестирующей выборке. Во втором случае за основу брали те же 50 углеводородных эфиров и предсказывали воспламеняемость для 50 фторированных эфиров и их конфигураций. Здесь мы могли опираться только на их молекулярные дескрипторы. Среднее значение отклонений от экспериментальных значений составило: 4.9% по обучающей выборке и 7.3% по тестирующей выборке.

В работе сформулированы критерии устойчивого развития для технологий преобразования низкотемпературных источников теплоты в работу на основе цикла Ренкина, использующего органические рабочие тела. Для поиска новых рабочих тел, для которых отсутствует информация о воспламеняемости, предложен нейросетевой подход к прогнозированию этого свойства. На основе известной информации о входных данных (молекулярных дескрипторах) для небольшой выборки известных веществ,

которые сложным образом связаны с выходной величиной – температурой воспламенения, предсказаны наименее исследованные показатели безопасности – воспламеняемость различных фторированных эфиров и их конфигураций.

Литература

1. Tareq A. Albahri, Flammability characteristics of pure hydrocarbons// Chemical Engineering Science 58 (2003) 3629 – 3641.
2. Sako T., Yasumoto M., Sato M., Kitau, O., Ishiguro K., Kato M., Properties of Fluorinated Ethers and Amines // *Fluid Phase Equilibria* . – 1998. – 144. – pp. 113-117.
3. Donald B. Bivens and Barbara.H Minor, Fluoroethers and other next generation fluids//*J.Refrig.*Vol.21, No.7, pp.567-576, 1998.
4. MATLAB 7.9.

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАДИЕНТНОЙ ТЕОРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ХЛАДАГЕНТОВ.

Чапский Е.А., Чапская С.П., Железный В.П.

ОГАХ, г. Одесса

Поверхностное натяжение жидкостей играет важную роль во многих технологических процессах. Поверхностные явления на границе раздела жидкость-пар оказывают влияние на теплообмен при фазовых переходах адгезию на поверхностях, устойчивость пены, генерацию пузырьков, смачивание и процессы, протекающие в пористых системах. В настоящее время разработано несколько методов расчета поверхностного натяжения жидкостей и растворов. Среди них наибольшее применение нашли такие методы как: структурно-аддитивные методы (метод паракхора), теория возмущений, теория функционала плотности и градиентная теория.

Научный интерес к градиентной теории продиктован несколькими обстоятельствами. Во-первых, небольшим объемом исходной информации для прогнозирования поверхностного натяжения. Во-вторых, благодаря высокой точности прогнозирования поверхностного натяжения для

чистых веществ и смесей. Кроме того применение градиентной теории открывает новые возможности детального изучения параметров поверхностного слоя жидкостей, что имеет принципиальное значение в разработке современных методов изучения фазовых равновесий и поверхностного натяжения зеотропных смесей, а также растворов хладагент/масло.

В соответствии с градиентной теорией для чистого вещества выражение для поверхностного натяжения имеет вид:

$$\sigma = \int_{-\infty}^{\infty} k \cdot \left(\frac{d\rho}{dz} \right)^2 dz = \int_{\rho_V}^{\rho_L} \sqrt{2k(w - w_S)} d\rho \quad (1)$$

где ρ_V, ρ_L – равновесные плотности паровой и жидкой фаз соответственно;

$w(\rho) = f_0(\rho) - \sum_i \rho_i \mu_{is}$, μ_{is} – химический потенциал компонента i в объемной фазе; $w_S = -p_S$, p_S – давление насыщенных паров объемной фазы

В настоящей работе предложена корреляционная формула для определения температурной зависимости параметра влияния неоднородности среды, которая обеспечивает хорошее согласование рассчитанных с помощью градиентной теории значений поверхностного натяжения с достоверной эмпирической информацией для хладагентов.

$$k(T) = \frac{1}{a(T) \cdot b^{T_{boil}/T_c}} \cdot [A + B(1 - T_r) + C(1 - T_r)^2], \quad (2)$$

где T_{boil} – температура нормального кипения, T_c – критическая температура, $T_r = T/T_c$. Коэффициенты B , A и C рассчитаны для группы хладагентов из эмпирических данных.

Показано, что градиентная теория, с соотношением (2) для параметра влияния, позволяет описывать температурную зависимость поверхностного натяжения для различных веществ в интервале приведенных температур $Tr \in [0.5; 1]$.

К несомненным достоинствам градиентной теории следует отнести возможность расчета толщины поверхностного слоя жидкой фазы, расчет которой производится по формуле:

$$z = z_0 + \int_{\rho_v}^{\rho_L} \sqrt{\frac{k(T)}{2 \cdot |\rho(\mu(\rho, T) - \mu_s) - (p(\rho, T) - p_s)|}} d\rho, \quad (3)$$

где z – толщина поверхностного слоя, z_0 – точка отсчета (в данной работе принимается равной нулю), $\mu(\rho, T)$ – химический потенциал в поверхностном слое, $p(\rho, T)$ – внутреннее давление в поверхностном слое.

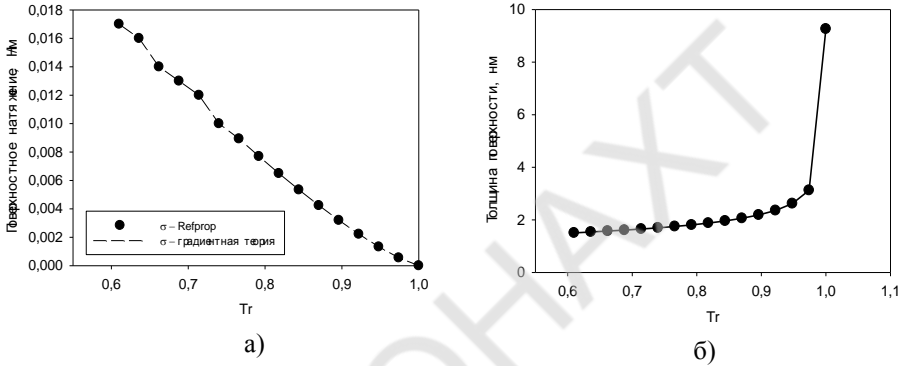


Рисунок 1 – а) Температурная зависимость поверхностного натяжения вещества R12 сплошная линия – расчет по градиентной теории, звездочки – данные REFPROP, б) Зависимость толщины поверхностного слоя R12 от приведенной температуры, рассчитанная по формуле (3)

Кроме того, зная распределение плотности в поверхностном слое (профиль плотности) можно найти среднюю плотность вещества в поверхностном слое как среднеинтегральную величину, что важно для корректного описания фазовых равновесий зеотропных смесей. Все вышесказанное позволяет говорить о перспективности применения градиентной теории для изучения поверхностных характеристик хладагентов.

ИСПЫТАНИЯ ПОЛУГЕРМЕТИЧНЫХ КОМПРЕССОРОВ

Буданов В.А., Чеканина А.Н.

Одесская государственная академия холода

Практически все новые модели компрессоров мировых производителей разрабатываются на озонобезопасных фреонах. Причиной такого перехода являются результаты исследования озоновых дыр, одним из главных виновников появления, которых считается утечка галогенированных фторуглеводородов из холодильных систем. Некоторые ученые не соглашаются с этим, но так как Украина подписала Монреальский протокол, в котором предписывается запретить применение галогенированных фторуглеводородов в новых холодильных установках с 1997 года, поиск и исследование альтернативных озонобезопасных хладагентов является важным мероприятием на данный момент.

Ввиду благоприятных свойств R410A во всем мире действуют исследовательские программы по разработке и испытанию подходящих системных узлов.

Рассчитывая охватить обычные области применения R22, следует принимать во внимание существенные различия в термодинамических свойствах (например, в массовом и объемном расходе, в плотности паров). Кроме того, высокие уровни давления для R410A могут потребовать внесения изменений в конструкцию компрессора, теплообменников, органов управления, трубок и шлангов, наряду с обращением особого внимания на общие правила безопасности, регламентирующие качество и размеры шлангов и гибких элементов. Поэтому имеет смысл разработки калориметрического стенда для всесторонних исследований новых компрессоров, работающих на данном хладагенте.

Испытания малых холодильных компрессоров и агрегатов должны быть достаточно точными и полными, чтобы достоверно определить все нормативные показатели качества – холодопроизводительность, потребляемую мощность, показатели, характеризующие надежность (в том числе температуру обмотки встроенного в компрессор двигателя и условия его пуска), шум, вибрации и др. Для точного измерения малых расходов холодильного агента и определения характеристик фреоновых ком-

прессоров со встроенным электродвигателем потребовалось разработать специальные методы испытаний и измерительную аппаратуру.

Холодильные компрессоры и агрегаты должны подвергаться в соответствии с ГОСТ 10613-63, 13019-67, 13370-67, 17240-71, приемочным (ранее типовым), периодическим и приемо-сдаточным (текущим) испытаниям.

Многообразие методов испытаний компрессоров обусловлено рядом причин. Номенклатура холодильных компрессоров чрезвычайно разнообразна по холодопроизводительности и мощности. Организация и проведение испытаний на паровом кольце всегда проще и дешевле, чем на стенде с полным циклом холодильной машины. Особенно это ощутимо при испытании компрессоров большой холодопроизводительности. Однако абсолютная погрешность измерений испытаний на паровом кольце, как правило, довольно велика.

ПЕРСПЕКТИВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

**Железный В.П., Никитин Д.Н., Приходченко Н.А.
ОГАХ, г. Одесса**

Холодильной техникой потребляется примерно 20% производимой электрической энергии. Поэтому повышение энергетической эффективности является приоритетным направлением в создании нового поколения холодильного оборудования. Эта цель может быть достигнута при реализации трех технологических направлений.

Конструктивное совершенствование элементов холодильного оборудования. Это технологическое направление связано с переоборудованием предприятий и внедрением новых технологий, что потребует больших финансовых затрат. Поэтому этот путь совершенствования холодильного оборудования может быть реализован только в долгосрочной перспективе.

Использование новых альтернативных рабочих тел (растворов хладагент/масло), для которых термодинамическая эффективность холо-

дильных циклов выше, чем на традиционно применяемых рабочих телах. Однако это технологическое направление, во-первых, может привести к повышению энергетической эффективности холодильного оборудования лишь на несколько процентов. Во-вторых, его реализация также сопряжена с большими трудностями, которые связаны как с разработкой новых хладагентов и компрессорных масел, так и созданием новых технологий их производства, изучением антропогенных характеристик альтернативных рабочих тел. Дополнительные трудности возникают при замене прокладочных, конструкционных и электроизоляционных материалов. То есть, это технологическое направление совершенствования холодильного оборудования также требует больших финансовых затрат и длительных тестовых испытаний хладагентов, масел, конструкционных материалов и т.п.

Внедрение нанотехнологий при создании новых альтернативных рабочих тел и теплоносителей на базе уже применяемых в холодильной технике веществ. Это направление позволяет увеличить показатели энергетической эффективности холодильной техники, повысить коэффициенты теплопередачи в аппаратах холодильного оборудования, что приведет к уменьшению материалоемкости, снижению стоимости и повышению конкурентоспособности производимого холодильного оборудования на рынке. Данное технологическое направление не требует разработки новых технологий производства холодильного оборудования, хладагентов и компрессорных масел, замены конструкционных, прокладочных и электроизоляционных материалов.

Основной технологический принцип получения новых нановеществ для холодильной техники состоит в ультразвуковом диспергировании растворов, состоящих из базовых веществ (хладагентов, теплоносителей, компрессорных масел) и наночастиц (металлы, их окислы, фуллерены, нанотрубки и т.д.). Для сохранения стабильности полученных нанофлюидов обычно применяются дисперсанты (имидазолин, олеиновая и рицинолеиновая кислоты и т.д.).

Проведенные исследования показывают, что перспективы применения нанотехнологий в холодильном оборудовании определяются не-

сколькими факторами, связанными с изменением свойств реальных рабочих тел.

Присутствие примесей наночастиц в растворах хладагент/масло приводит к повышению давления насыщенных паров растворов хладагентов в наномаслах. Этот термодинамический эффект способствует увеличению плотности паров хладагента в картере компрессора, что при неизменном его объёмном расходе позволит увеличить удельную холодопроизводительность и холодильный коэффициент оборудования.

Примеси наночастиц (определенного химического состава) в компрессорном масле в ряде случаев способствуют существенному уменьшению трения и износа сопрягаемых деталей компрессора. Снижение работы трения в компрессоре приведет к уменьшению затрат электрической энергии холодильным оборудованием.

В ряде опубликованных работ показано, что наличие наночастиц в компрессорных маслах приводит к увеличению их теплопроводности. Следовательно, возрастет значение теплопроводности растворов хладагент/масло, что будет способствовать уменьшению термического сопротивления пограничного слоя кипящего рабочего тела в испарителе и понижению температуры компрессора. Следствием этого эффекта будет понижение температуры нагнетания хладагента, которое будет способствовать повышению холодильного коэффициента оборудования.

Отмеченное в работах авторов уменьшение поверхностного натяжения компрессорных масел способствует интенсификации теплообмена при кипении реальных рабочих тел в испарителе, увеличению давления насыщенных паров растворов хладагент/масло.

Проведенные исследования указывают, что примеси наночастиц способствуют увеличению вязкости масел и теплоносителей. Поэтому при оценке эффективности применения нанотехнологий в холодильной промышленности нужно решать оптимизационную задачу связанную с оценкой влияния таких положительных факторов как увеличение теплопроводности и теплоемкости нанохладоносителя с возросшими энергетическими затратами на его циркуляцию. Увеличение вязкости хладагентов, масел и растворов хладагент/масло оказывает как негативное, так и позитивные влияние на показатели энергетической эффективности компрес-

сорной системы. Негативный эффект обусловлен увеличением затрат энергии на трение в компрессоре. Позитивный эффект может быть достигнут за счет использования в компрессорах масел с меньшей вязкостью, что будет способствовать лучшему уносу масла из испарителя и интенсификации теплообмена при сохранении коэффициента подачи (за счет влияния примесей наночастиц на вязкость компрессорного масла).

Результаты проведенных исследований показывают, что присутствие наночастиц в хладагенте способствует интенсификации процессов кипения, как в свободном объеме, так и при кипении в трубе. Физическим обоснованием этого эффекта является понижение поверхностного натяжения нанохладагента по сравнению с чистым хладагентом, а также существенные физические изменения в перегретом поверхностном слое вблизи поверхности испарителя: появление дополнительных центров парообразования, увеличение теплопроводности, уменьшение поверхностного натяжения.

Как показывают проведенные недавно в ОГАХ исследования, еще одним позитивным эффектом присутствия наночастиц в базовых жидкостях является их влияние на параметры кривых расслоения растворов хладагент/масло, что может способствовать улучшению растворимости хладагентов в компрессорных маслах.

Анализ опубликованных работ, например посвященных исследованию теплофизических свойств и теплообмена при кипении нанофлюидов, показывает, что приготовление образцов является едва ли не ключевой проблемой. Многие авторы выполненных исследований отмечают процессы кластеризации и выпадения осадка из образца. Наночастицы в базовой жидкости со временем могут слипаться друг с другом образуя агломераты. Одним из возможных решений этой технологической проблемы является применение при приготовлении нанофлюидов поверхностно-активных веществ – дисперсантов, таких как цитрат аммония, имидазолин, олеиновая и рицинолеиновая кислоты и т.д. Вместе с тем следует констатировать, что проблема устойчивости нанофлюидов сложна и не имеет на сегодняшний день общих решений.

С учетом изложенного, можно сформулировать общий вывод о перспективности внедрения нанотехнологий в холодильном оборудова-

нии. В большинстве публикаций отмечается позитивное влияние наночастиц на теплофизические свойства теплоносителей, рабочих тел и интенсивность теплообмена в аппаратах холодильного оборудования. Однако все опубликованные по рассматриваемой тематике исследования носят до сих пор фрагментальный характер, посвящены отдельным аспектам изучения свойств нанофлюидов, теплообмена и их возможного применения в практике холодильного машиностроения. В настоящее время в литературе до сих пор отсутствует информация о комплексных исследованиях теплофизических свойств нанохладагентов, испытаниях новых нанохладагентов в холодильном оборудовании. По мнению авторов, эти обстоятельства сдерживают технологический прогресс в холодильном машиностроении.

РАСШИРЕНИЕ ДИАПАЗОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МИКРОКОМПРЕССОРОВ СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Карпович О.Я., Онищенко О.А.

ОГАХ, Одесса

Для большинства современных однопоршневых холодильных микрокомпрессоров требуется плавное регулирование их производительности [1]. Энергетически наиболее эффективный способ регулирования – с помощью автоматизированного, управляемого по частоте вращения, электропривода [2]. Установлено, что простыми средствами обеспечить требуемый ($D \approx 4 \dots 5$) диапазон регулирования холодопроизводительности практически невозможно [3, 4]. Предлагается новое решение, обеспечивающее заданный диапазон регулирования холодопроизводительности герметичных микрокомпрессоров малых холодильных установок, использующее систему автоматического управления (САУ) вентильно-индукторным электроприводом (ВИП) с эталонной моделью (ЭМ) динамики и сигнальной самонастройкой – дополнительной положительной обратной связью [5]. Используя результаты моделирования и экспериментальных исследований установлено, что применение скользящего режима работы в САУ с ЭМ и сигнальной самонастройкой для микрокомпрессора с ВИП нецелесообразно.

Авторами разработаны отличающиеся от известных решений структурная схема и математическая модель (ММ) автоматизированного ВИП микрокомпрессора с ЭМ динамики. ММ, в частности, учитывает:

- изменения приложенного к валу электродвигателя микрокомпрессора результирующего момента сопротивления, содержащего ряд составляющих (основную резкопеременную, являющуюся функцией угла поворота вала двигателя и режима работы холодильной установки, и две относительно небольших составляющих – реактивного характера и вязкого трения);

- приведенный к валу момент инерции, изменяющийся в течение одного оборота вала двигателя дважды;

- особенности работы ВИП (датчиков, инвертора и других элементов).

Особенностью предложенной системы является то, что ее синтез основан на предположении, что САУ ВИП с ЭМ является активным фильтром (АФ) низких частот [6], на который воздействует периодическая помеха – изменяющийся в функции угла поворота статический момент сопротивления при переменном моменте инерции. Для того чтобы АФ пропускал без искажений входной сигнал в заданном диапазоне частот, необходимо сформировать его амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) в этом диапазоне частот с неизменным коэффициентом усиления ($K \approx 1$), но при этом обеспечить фазочастотную характеристику (ФЧХ) с постоянным ($\Delta\varphi \approx 0$) или слабо возрастающим фазовым сдвигом. Для герметичного микрокомпрессора, используя указанный тезис, создана ММ ВИП с ЭМ динамики.

На рисунке 1 приведены некоторые из результатов моделирования: графики изменения скорости ω микрокомпрессора и электромагнитного момента M его электродвигателя при практически пятикратном уменьшении холодопроизводительности микрокомпрессора (относительно номинального значения).

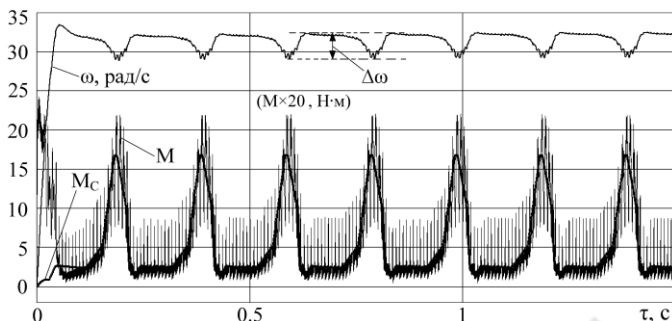


Рисунок 1 – Динамика САУ с ЭМ ВИП при $\omega_{сред} = 31,7$ рад/с

Техническая реализация представленного принципа построения САУ с ЭМ ВИП, кроме обеспечения требуемого диапазона регулирования скорости ($D = \omega_{ном}/\omega_{мин} = 142/31,7 \approx 4,5$) компрессора, позволяет снизить уровень его шума, вибраций и массогабаритные показатели.

Литература

1. Онищенко О.А. Модель холодильной установки с автоматизированным электроприводом компрессора / О.А. Онищенко // Холодильная техника и технология (прил. к журналу). – 2005. – №5(97). – С. 120-129.
2. Онищенко О.А. Оценка энергетических затрат на выработку холода бытовым холодильным прибором / О.А. Онищенко // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2007. – № 3(44), ч. 1. – С. 106-110.
3. Карпович О.Я. Алгоритм моделирования вентильно-индукторных электроприводов микрокомпрессоров / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №3/8(51). – С. 19-24.
4. Онищенко О.А. Система управления электроприводом поршневого компрессора холодильной установки / О.А. Онищенко // Электромашинобудування та електрообладнання. – 2005. – №65. – С. 23-28.
5. Фролов Ю.М. Адаптивная система с самонастройкой параметров / Ю.М. Фролов // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2008. – № 4. – С. 29-31.
6. Хьюлсман Л.П. Введение в теорию и расчет активных фильтров / Л.П. Хьюлсман, Ф.Е. Аллен. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 384 с.

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ
ХЛАДАГЕНТА R410A С КОМПРЕССОРНЫМ МАСЛОМ
RENISO TRITON SEZ 32**

**Лозовский Т. Л., Ивченко Д. А., Железный В. П., Семенюк Ю.В.
ОГАХ, г. Одесса**

Реальным рабочим телом (PPT) в пароконденсационных холодильных системах является раствор, состоящий из хладагента и масла. Поэтому при разработке мероприятий направленных на повышение энергетической эффективности холодильного оборудования необходимо располагать информацией о его термодинамических свойствах. Вместе с тем в настоящее время экспериментальные исследования остаются практически единственным источником получения достоверной информации о свойствах растворов хладагент/масло (РХМ). Из анализа опубликованной информации следует, что большинство работ посвящено исследованию фазовых равновесий и вязкости. Данные по плотности, капиллярной постоянной, поверхностному натяжению и калорическим свойствам РХМ в литературе практически отсутствуют.

Использование существующих теоретических моделей применительно к РХМ сводится, к аппроксимации экспериментальных данных о фазовых равновесиях жидкость-пар. При этом для достижения приемлемой погрешности описания фазовых равновесий требуется значительный объем экспериментальных данных, в которых могут содержаться методические погрешности. Следует подчеркнуть, что растворы хладагент/масло (РХМ) относятся к сложным термодинамическим системам, поскольку состоят из неопределенного количества компонентов, значительно отличающихся по своим физико-химическим свойствам. Трудности экспериментального изучения свойств РХМ связаны с длительностью установления термодинамического равновесия, зетропным характером изменения давления насыщенных паров, градиентом концентрации хладагента в поверхностном слое жидкой фазы.

Проблемы моделирования свойств РХМ обусловлены их существенными отклонениями от поведения идеальных растворов, отсутствием данных о псевдокритических параметрах и о молекулярной массе масел.

Большинство из предложенных методов предполагает наличие достоверной экспериментальной информации о фазовых равновесиях жидкость-пар. Однако, как показывает анализ, качество описания экспериментальных данных по фазовым равновесиям РХМ в рамках существующих моделей остается на низком уровне. Это обстоятельство ограничивает возможности дальнейшего развития методов моделирования теплофизических свойств РХМ.

В связи с этим в докладе рассмотрена задача создания научно обоснованной базы данных по теплофизическим свойствам растворов смесового хладагента R410A с компрессорным маслом Reniso Triton SEZ 32 (как реального рабочего тела для систем кондиционирования). С этой целью была разработана методика прогнозирования фазовых равновесий жидкость-пар РХМ с использованием кубических уравнений состояния и учетом эффективного состава поверхностного слоя.

В докладе представлены результаты экспериментального исследования фазовых равновесий плотности жидкости на линии кипения и поверхностного натяжения модельного раствора R134a/R143a и смесового хладагента R410A с компрессорным маслом Reniso Triton SEZ 32. На основании полученных экспериментальных данных разработаны методики прогнозирования поверхностного натяжения галоидопроизводных хладагентов и их растворов, и методика прогнозирования концентрации поверхностного слоя (основанная на трехфазной модели раствора Гуггенгейма). На основе полученной экспериментальной и расчетной информации была создана новая методика для прогнозирования фазовых равновесий жидкость-пар исследованных РХМ на основе кубических уравнений состояния с учетом эффективной концентрации поверхностного слоя РХМ.

На рис. 1 приведена диаграмма фазовых равновесий жидкость-пар растворов R410A с компрессорным маслом Reniso Triton SEZ 32, а на рис. 2 приведена концентрационная зависимость плотности изученного РХМ.

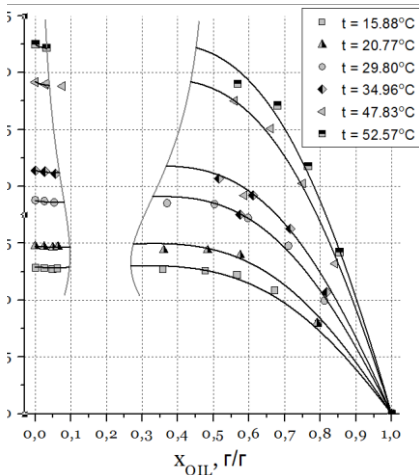


Рисунок 1 – Давление насыщенных паров растворов R410A/Reniso Triton SE32

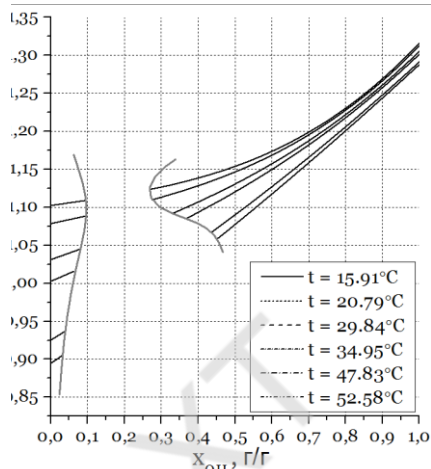


Рисунок 2 – Плотность жидкой фазы растворов R410A/Reniso Triton SE32

ОПТИМИЗАЦИЯ И УЛУЧШЕНИЕ СПОСОБА СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ХОЛОДИЛЬНОМ ОТДЕЛЕНИИ ДОМАШНИХ ХОЛОДИЛЬНИКОВ КЛАССА А

Водяницкая Н.И., Мельников В.Д., ОГАХ

Современную жизнь трудно себе представить без бытовых холодильников и морозильников. В настоящее время широкое распространение получили холодильники-морозильники с «плачущим испарителем» или с «плачущей стенкой».

В паспортных данных этих холодильников не приводятся значения температур в холодильном отделении, а приводятся только данные о классе с точки зрения энергопотребления (например, класс А). Так, например, в двухкамерном холодильнике – морозильнике марки indesit (RA32G,) температура в холодильном отделении достигала 10⁰С и выше при положении термостата, соответствующего наинизшей температуре, что не позволяло длительное время сохранять такие продукты как молоко, варёные колбасы и другие готовые изделия.

Можно предполагать, что это не есть оптимальная настройка бесшкального терморегулятора, но можно утверждать, что другая настройка может быть произведена только квалифицированным специалистом, а не пользователем.

При этом надо понимать, что в этих холодильниках температура внутри холодильного отделения сильно зависит от нагрузки и температуры окружающей среды. Поэтому часто температура в охлаждаемом объеме несколько выше, чем это отображено в классификационных параметрах. Особенно это относится к холодильникам с пониженным энергопотреблением (класса А). Следует также отметить, что температура в холодильной камере существенно зависит от количества заправляемого холодильного агента, поскольку в «плачущий испаритель» поступает избыток жидкого холодильного агента после морозильного отделения.

В холодильниках, оборудованных механическим термостатом, включение компрессора осуществляется по температуре на выходе из «плачущего испарителя» порядка -12°C ... -20°C . Механический термостат (бесшкальный терморегулятор) имеет большой дифференциал, который ориентирован на то, чтобы после каждого отключения термостатом осуществлялась оттайка испарителя (откуда и название «плачущий испаритель» или «плачущая стенка»). Термостат включает компрессор только при достижении температуры на выходе из испарителя порядка $+5$... $+8^{\circ}\text{C}$. В результате чего средняя температура в испарителе, призванного охладить общий объем холодильного отделения, будет приблизительно равна некоему среднему значению между температурами -12°C и $+8^{\circ}\text{C}$, что явно недостаточно для получения температуры в холодильном отделении хотя бы $+4^{\circ}\text{C}$... $+6^{\circ}\text{C}$.

Нами предлагается и экспериментально апробирован способ регулирования работы компрессора домашнего холодильника в зависимости от температуры «плачущей стенки» с помощью простейшего электронного регулятора **ID 961** производства **eliwell** с одним датчиком температуры. Настройку датчика производили на различные температуры окончания охлаждения: от -12°C до -16°C , с интервалом в один градус; дифференциал при этом оставался постоянным и равным 7°C , следовательно, температура включения компрессора изменялась от -5°C до -9°C ; оттайка осуще-

ствлялась через каждые восемь часов продолжительностью 35 минут. Все эти настройки находятся в пределах нормальных значений контролера.

При этом температура «плачущего испарителя» с электронным регулятором температуры значительно снизилась по сравнению с механическим термостатом при полном сохранении функции «плачущего испарителя». Суть которого состоит в следующем: в момент цикла работы компрессора на испарителе за счёт конденсации влаги из воздуха намерзает иней.

Следует отметить, что в большинстве современных холодильников испаритель спрятан за пластиковой стенкой холодильной камеры и, поэтому, правильно будет говорить о «плачущей стенке», подразумевая, что причиной данного явления является испаритель. В течение восьми часов цикличной работы компрессора (включение и отключение компрессора) температура стенки испарителя отрицательная, и на протяжении этого времени на ней намерзает иней. Через восемь часов начинается оттайка.

Иней на испарителе (стенке) начинает таять, и влага стекает по стенке через специальный жёлоб в лоток, укреплённый на крышке компрессора.

Получается, что стенка холодильника как бы «плачет». Талая вода под воздействием тепла корпуса компрессора постепенно испаряется из лотка. При этом объём воды, стекающей из «плачущей стенки» невелик и влага в лотке достаточно интенсивно испаряется, поэтому не следует бояться переполнения лотка водой.

Такая настройка электронного регулятора позволила существенно снизить температуру в холодильном отделении, так в нижней части отделения температура достигала $+2^{\circ}\text{C}$, а в верхней $+5^{\circ}\text{C}$, температура окружающей среды во время снятия показаний оставалась в пределах $25\div 26^{\circ}\text{C}$.

Измерения показали, что коэффициент рабочего времени (КРВ) с понижением температуры отключения компрессора (температуры стенки «плачущего испарителя») находился в совершенно приемлемых значениях ($0,3\div 0,5$) (рис.1).

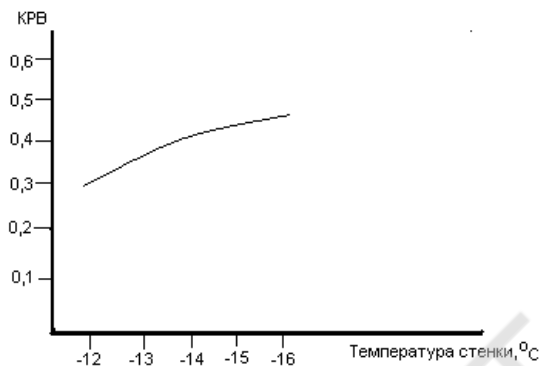


Рисунок 1 – График зависимости коэффициент рабочего времени от температуры стенки

При этом холодильник защищён от непредвиденных отключений от сети, так как каждый следующий запуск происходит с задержкой по времени, равной шести минутам, т.е. в течение часа компрессор не может запускаться больше чем десять раз.

Изменением параметров настроек электронного регулятора температуры (температуры включения и выключения, а также периодичности и продолжительности оттайки) можно добиться оптимального энергопотребления, а главное добиться значения температуры в холодильной камере соответствующего класса холодильников. Для обеспечения надежной оттайки плачущей стенки, время оттайки можно изменить. Вполне возможно периодичность оттайки принять равной 4-м часам, а длительность 25ти мин. Электронный регулятор **ID 961** производства **eliwell** вполне позволяет выполнять такие настройки.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ, ОЗОНЕРАЗРУШАЮЩИХ ФРЕОНОВ И ПЕРСПЕКТИВА ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Милованов В.И., Стрелкова И.Л.

Одесская государственная академия холода

Принятые международными комитетами меры по предотвращению разрушения слоя стратосферного озона, а также возникновение парникового эффекта в атмосфере из-за выбросов хладагентов привели к радикальным изменениям в технологиях искусственного охлаждения. Причиной уменьшения озона в стратосфере и образования озоновых дыр является производство и применение хлор- и бромсодержащих фреонов. По уровню влияния на озоновый слой Земли галоидопроизводные углеводороды были разделены на три группы: ХФУ(CFC) – хлорфторуглероды, которые обладают высоким потенциалом разрушения озонового слоя $ODP=1$; ГХФУ(HCFC) – гидрохлорфторуглероды с $ODP<0,05$ и ГФУ(HFC) – гидрофторуглероды, имеющие $ODP=0$.

На сегодняшний день мы знаем, что для более полного учета энергетических и экологических факторов возникла необходимость введения нового критерия: Полного Эквивалентного Глобального Потепления TEWI (Total Equivalent Global Warming Impact).

Сегодня в качестве альтернатив R22 широко используются такие фреоны как R134a, R407C, R404A и R410A.

R134a широко используют во всем мире в качестве основной замены R22 для холодильного оборудования. Применяют R134a в автомобильных кондиционерах, бытовых холодильниках, торговом среднетемпературном оборудовании, промышленных установках, системах кондиционирования воздуха зданий и промышленных помещений, а также на холодильном транспорте.

Хладагент R407C по энергетической эффективности близок к R22 и рассматривается как оптимальная альтернатива R22. В настоящее время его широко используют в системах кондиционирования воздуха. Не требуется вносить значительных изменений в холодильную систему.

Хладагент R404A предполагается применять для ретрофита действующего средне- и низкотемпературного оборудования, работающего на R22, а также для заправки нового холодильного оборудования. Совместим с синтетическими маслами, относится к группе ГФУ. Перспективен для применения в области низких температур на судовом рефрижераторном транспорте.

Хладагент R410A обеспечивает достаточно высокую удельную холодопроизводительность холодильного оборудования (почти на 50% выше, чем R22). R410A ведет себя как однокомпонентный хладагент, что облегчает эксплуатацию и обслуживание холодильного оборудования. Существенным достоинством R410A является высокая интенсивность теплопередачи в теплообменных аппаратах.

Однако эти хладагенты уже давно хорошо изучены и следует искать более новые и перспективные решения проблемы перевода холодильного оборудования на озонобезопасные вещества.

В Европе одним из наиболее распространенных хладагентов – заменителей R22 является R422D. Он нашел применение в торговом холодильном оборудовании, ранее работающем на R22. Преимущества перевода на R422D: практически идентичные показатели работы холодильной техники, короткое время необходимое для работы, непрерывная работа системы, замена масла не требуется.

Сегодня существуют более новые хладагенты, предлагаемые для замены R22, такие как R424A, R434A, R428A. В каждом из них содержится небольшое количество гидроуглеводородного хладагента, чтобы способствовать маслоподъему. Переход на R424A и его испытания показали, что его энергоэффективность на 10 – 20% лучше по сравнению с R22, в случае, когда R424A используется в холодильной машине одинаковой производительности.

Благодаря своей высокой холодопроизводительности хладагент R434A дополняет R424A. R434A предназначен для замены R22 в холодильном оборудовании большей производительности и оборудовании для кондиционирования воздуха. Хладагент R434A имеет производительность, сравнимую с R22, одинаковое с R22 давление конденсации, идентичную степень сжатия и низкую температуру нагнетания. Это делает

R434A хорошей альтернативой R22 при условиях недорогого переоснащения действующих холодильных. Для низкотемпературных условий был разработан хладагент R428A. Высокая удельная холодопроизводительность R428A при низких температурах кипения – замечательное качество этого нового хладагента. Показатель температурного скольжения R428A составляет меньше чем $0,5^{\circ}\text{C}$, что делает его применимым в холодильных машинах с различными видами испарителей.

При переводе холодильного оборудования на альтернативные хладагенты чрезвычайно актуальной становится задача выбора нового рабочего тела, обладающего высокой экологической чистотой и максимально энергетической эффективностью.

Исследования показали, что перспектива применения существует у новых фреонов R424A, R434A, R428A, R422A и R422D, которые имеют лучшие показатели по сравнению с альтернативными хладагентами, используемыми сегодня.

НТБ ОНАХТ

СЕКЦИЯ № 4

КРИОГЕННА ТЕХНІКА. НЕТРАДИЦІЙНА ЕНЕРГЕТИКА

керівник секції проф. Симоненко Ю.М., проф. Дорошенко О.В.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ГЕЛИИ ПРИ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Графов А.П., Одесская государственная академия холода

О возможности использования особенностей течения сверхтекучего жидкого гелия через тонкие каналы для отделения микропримесей известно давно [1, 2]. Интерес к этой технологии, в настоящее время, вызван, в основном, возможностью использования этой своеобразной фильтрации жидкого гелия при температуре ниже 2,17 К для извлечения из него изотопа ^3He .

Концентрация этого изотопа в товарном гелии весьма мала - не более $1,4 \times 10^{-6}$. Фильтрацию сверхтекучего гелия используют для получения концентрата, содержащего более 1% изотопа ^3He , который можно использовать в качестве сырья для получения чистого ^3He традиционными способами [3].

Разработанная модель движения сверхтекучего гелия в каналах пористого фильтра позволила выполнить анализ процессов отделения примеси изотопа ^3He от основного изотопа ^4He . Результаты этого анализа, являются основными предпосылками выбора параметров фильтра и режимов его работы, обеспечивающих минимальные эксплуатационные затраты на получение концентрата изотопа ^3He из товарного гелия в промышленных масштабах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Померанчук И.Я. О движении посторонних частиц в гелии II. Собрание научных трудов I. Физика низких температур. Нейтронная физика. ДАН СССР. – 1948, 59, 669. – С. 192.
2. Пешков В.П., Зиновьева К.Н. Экспериментальные работы с He^3 . Успехи физических наук. – 1959. – т. LXII. – Вып. 2. – С. 193-244.

3. Кузьменко И.Ф., Лебедев Л.Б. Разделение смеси $\text{Ne}^3\text{-Ne}^4$ методом низкотемпературной ректификации // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1995. – № 2. – С. 38-39.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОВ РЕДКИХ ГАЗОВ

Бондаренко В.Л., ОГАХ, Лосяков Н.П., ООО «Айсблик»

Симоненко О.Ю., ОГАХ

В металлургических отраслях России, Украины и Казахстана (рис. 1) сосредоточены несколько десятков крупных воздухоразделительных установок (ВРУ). Они перерабатывают в час более 10 млн. nm^3 атмосферного воздуха. В этом потоке, помимо кислорода и азота, содержатся гелий, неон, криптон и ксенон. Однако только часть этих ценных веществ извлекается и поступает на рынок в виде продуктов высокой чистоты. Более половины потенциального объема редких газов так и не попадает в сырьевые смеси, теряясь в процессе разделения воздуха и начальном этапе обогащения.

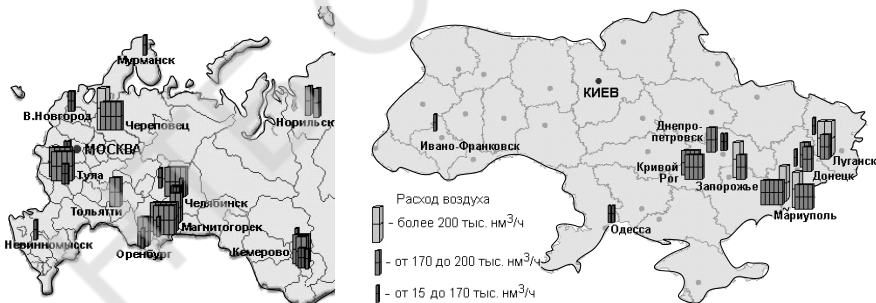


Рис. 1. Дислокация ВРУ на территории России и Украины

Обычно на стадии первичного концентрирования, получают смеси 50% ($\text{Ne}+\text{He}$) и 0,2% ($\text{Kr}+\text{Xe}$). Дальнейшее обогащение сырья производят в отдельных установках расположенных в непосредственной близости от ВРУ. В результате вторичной переработки получают 92%-ю смесь ($\text{Ne}+\text{He}$) и 99%-ю смесь ($\text{Kr}+\text{Xe}$), которые окончательно очищают и разделяют на специализированных предприятиях [1].

Некоторые кислородные и азотные установки не содержат контуров концентрирования инертных газов [2]. На таких объектах смесь легких инертных газов выдается с концентрацией всего 1...3%, а содержание криптона и ксенона в кислородном потоке измеряется сотыми долями процента. Переработка бедных смесей обычными методами приводит к значительным потерям целевых продуктов.

Для извлечения криптона и ксенона из низкопотенциальных потоков кислорода потребовалась разработка новых аппаратов. В них реализуются процессы вымораживания Kr и Xe, сорбции в стационарном и подвижном слоях сорбента, ректификация за счет подъема давления в газлифтном контуре. С целью концентрирования бедных неонгелиевых смесей $y_{\text{Ne+He}} < 2\%$ на основе азота разработаны компактные аппараты конденсационного обогащения [3]. Их подключение не требует остановки ВРУ и вмешательства в схему блока.

В таблице 1 обобщена информация о новых системах получения газовых концентратов.

Таблица 1- Опытные и промыш. установки для извлечения и обогащения

Процессы сепарации; (типы установок)	Состав сырья	
	На входе	После обогащения
<i>Установки для получения тяжелых редких газов (Kr и Xe)</i>		
Вымораживание $T=70$ К; (опытный образец)	$\approx 98\% \text{ O}_2$; $1,7\% \text{ N}_2$; $0,2\% \text{ CH}_4$; <u>$0,15\% \text{ Kr}$</u> ; <u>$0,01\% \text{ Xe}$</u>	<u>$98\% \text{ Xe}$</u> ; $1\% \text{ O}_2$; (N_2 ; CH_4 ; <u>Kr</u>) $< 1\%$
Сорбция в подвижном слое гранул $T=110$ К; (опытн.)		$\text{N}_2 + (30\% \text{ Kr}; 2\% \text{ Xe};$ $5\% \text{ O}_2; 0,5\% \text{ CH}_4)$
Каталитическое гидрирование $T=950$ К; Сорбция $T=300$ К; Ректификация $T=92 \dots 125$ К; (Хром-3)		$0,4\% \text{ N}_2$; (O_2 ; CH_4 ; CO_2) $< 0,1\%$; <u>$94,5\% \text{ Kr}$</u> ; <u>$5\% \text{ Xe}$</u>
Сорбция $T=110$ К; (Xe-0,06)		$\text{N}_2 + (15\% \text{ Kr}; 15\% \text{ CH}_4)$
Сорбция $T=110$ К; (Kr-0,06)	$> 99\% \text{ O}_2$; $0,1\% \text{ N}_2$; $0,03\% \text{ CH}_4$; <u>$0,01 \dots 0,02\% \text{ Kr}$</u> ; <u>$0,005\% \text{ Xe}$</u>	$\text{N}_2 + (5 \dots 35\% \text{ Xe};$ $2\% \text{ C}_2\text{H}_6; 2\% \text{ O}_2)$

Помимо перечисленных технологий, одним из перспективных направлений являются процессы адсорбции ксенона из жидких криопродуктов в контурах ВРУ.

В результате внедрения новых технологий обогащения редких газов в число сырьевых источников будут включены более десятка установок типа АКТ-30; КААр-15, КТА-40/30, а также другие типы ВРУ, не оборудованные системами концентрирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.Л., Симоненко Ю.М. Криогенные технологии извлечения редких газов // Одесса: ПО «Изд. центр». – 2009. – 232 с.
2. Arkharov A.M. Dynamics and Prospects of Rare Gases Market / A.M. Arkharov, V.L. Bondarenko, M.Yu. Savinov // Proc. 9 Int. Conf. «Cryogenics 2006». – Praha, Czech Republic. – 2006. – P. 243-246.
3. Новые технологии извлечения концентратов редких газов / В.Л. Бондаренко, Н.П. Лосяков, Ю.М. Симоненко и др. // Технические газы. – 2011. – № 1. – С. 42-52.

LNG CARGO TANKS ROLLOVER

Yamaletdinova A.A., Institute of power resources transport

LNG is a natural gas that has been liquefied by being cooled to approximately -160°C (-20°F). LNG takes 1/600 volume of Natural Gas, making it practical to transport by ship. Liquefied Methane held at atmospheric pressure in 4-6 heavily insulated tanks with inter-barrier spaces [1].

Gas carriers are generally of two different kinds:

- Membrane tanks;
- Independent tanks.

The essential difference between the types is that the membrane vessels are constructed directly in the inner hull of the ship. Whereas the independent tanks are supported by vessel stools, saddles or skirts in the inner bottom of the ship.

Membrane tanks are of four different types, three designed by GTT (Gaz Transport & Technigaz) and one is the KOGAS membrane system. The various systems are:

- GT 96;
- TG Mk III;
- CS 1;
- KC 1.

Independent tanks are of three different types:

- Type A independent tanks are designed using recognized standards of classical ship structure analysis and shipbuilding practice. These are usually found on larger LPG vessels.

- Type B independent tanks are designed using model tests and refined analytical tools and analysis methods to determine stress levels and fatigue life. Moss and IHI SPB tanks mainly used on LNG.

- Type C independent tanks are designed using recognized pressure vessel codes and standards. Used for all types of LPG carriers up to about 30000m³ and now LNG [2].

LNG boils in the tanks at -159°C producing methane vapor. Latent heat of evaporation cools the remaining cargo in the tank.

LNG ships use “Deepwell” pumps: one cargo pump in each cargo tank [3]. On completion of discharge a “heel” of gas is left in the bottom of the cargo tank. This heel evaporates on passage and the cold gas keeps the tank at cryogenic temperature. The gas is normally burnt in the ships boilers to produce steam for the turbines. If the gas is not taken out of the tanks, the pressure increases and the cargo warms up as it is not evaporating. If the gas is withdrawn the cargo cools down and the tank remains in a safe condition for loading [4].

A major problem that can be experienced with LNG tankers is called “Rollover”. During the long storage trips the liquid next to the tank walls warms slightly, becomes less dense and rises to the top, where it evaporates. Since light gases evaporate first, the liquid in the top layer tends to become denser and it goes down. So fluid circulation is formed. At the same time the liquid in the lower layer gains heat through the floor and walls of the tank with a convection flow similar to the top layer. But because of the hydrostatic pressure of the upper layer the rising liquid does not evaporate but superheats. So

the lower layer becomes warmer and less dense. When 2 layers approach the same density, the interface between the two becomes unstable and mixes rapidly. When it occurs, the liquid from the lower superheated layer gives off a large amount of vapor, that is many times higher than the usual boil-off rate [5].

Rollover can result in boil off rates ten times greater than normal, causing over pressurization, the lifting of relief valves and the release to atmosphere of considerable quantities of vapors.

In order to prevent such an ecological catastrophe there is a need to mix the stratified layers of the LNG by the deepwell pumps, and, particularly, to do it in time. To define estimated time of rollover, the trends of basic physical characteristics changing during the LNG storage were identified, heat transfer and boil-off rate calculations were provided and, finally, the mathematical model and the computer program of the stratification process in LNG refrigerated storage tank with 2 layers of non-identical physical properties were created.

LITERATURE

1. Curt B. Marine transportation of LNG / Intertanko Conference. – Qatar. – 2004. – 30 p.
2. Venner F.J. Bureau Veritas and Gas Carriers / Bureau Veritas gas tanker Seminar, September 20. - Hamburg. – 2007. – 48 p.
3. HYUNDAI-JC Carter-Snecma LNG Marine pumps. – 7 p.
4. Shammazov A.M., Teregulov R.K., Mastobaev B.N., Korobkov G.E. LNG production, storage and transportation // Nedra. – Saint-Petersburg. – 2007 – 152 p.
5. Yamaletdinova A.A., Elizarieva N.L., Rachimov V.O. Mathematical modeling of the stratification process in LNG storage // Society: Problems and Ways of Solutions, collected papers. – Ufa, USPTU. – 2010. – № 27. – 1 p.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ СЖИ- ЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Елизарьева Н.Л., Рахимов В.О.,

Коробков Г.Е., УГНТУ, г.Уфа

Природный газ является одним из основных источников энергии, на сегодняшний день его доля в мировом энергобалансе составляет 21%. Эксперты Международного энергетического агентства прогнозируют, что к 2035 году потребление газа возрастет более чем в 2 раза, причем спрос на него будет расти быстрее, чем на нефть и уголь, что приведет к его увеличению доли его потребления в мировой энергетике до 25% [1].

В настоящее время основным видом транспорта природного газа является трубопроводный транспорт. В то же время сооружение газопроводов в ряде случаев может быть крайне нерентабельно.

Возможным решением проблемы является сжижение природного газа, которое может осуществляться путем повышения давления (в этом случае газ называют сжатым или компримированным) или понижения температуры (сжиженный природный газ). По сравнению со сжатым сжиженный природный газ имеет ряд преимуществ, главным из которых является безопасность его хранения, так как давление в изотермическом резервуаре СПГ ненамного превышает атмосферное, при этом температура хранимого продукта составляет -160°C . При сжижении объем газа уменьшается в 600 раз, что позволяет сократить затраты на транспортировку и хранение [2].

В то же время низкая температура эксплуатации объектов инфраструктуры СПГ вызывает изменения в свойствах металлов: значительно увеличивается прочность при одновременном снижении вязкости и пластичности. Также возможно повышение склонности к хрупкому разрушению. Данный вид разрушения является крайне нежелательным, так как скорость распространения трещины при этом составляет 0,4 от скорости звука в металле (примерно $2 \cdot 10^3$ м/с), кроме того нарастание трещины не требует больших затрат энергии, т.е фактически является самопроизвольным процессом. Таким образом, одним из важнейших свойств металлов,

контактирующих с низкотемпературным продуктом, является хладноломкость [3,4].

Целью данной работы было определение режимов эксплуатации различных хранилищ сжиженного природного газа, выявление условий возникновения хрупких трещин.

В качестве расчетной модели нами был выбран вертикальный цилиндрический резервуар объемом 100000 м^3 с рабочим избыточным давлением в паровом пространстве 20 кПа, сооруженный в рамках проекта “Сахалин-2”. Внутренняя оболочка выполнена из конструкционной криогенной стали 0Н9.

В ходе работы нами были определены режимы эксплуатации исследуемого объекта: уровень теплопритока и испарения для стационарных режимов эксплуатации, при выполнении сливо-наливных операций. Также было рассмотрено влияние характеристик продукта и различных внешних воздействий на скорость повышения давления в паровом пространстве.

Согласно проведенному анализу результатов теоретических и экспериментальных работ, посвященных данной проблеме, существует несколько основных факторов, повышающих риск возникновения хрупкой трещины. По результатам исследования была проведена оценка вероятности локального вязко-хрупкого перехода для исследуемого объекта. Кроме того, в работе приведена оценка увеличения риска возникновения локального вязко-хрупкого перехода при активизации сейсмических процессов

Расчет показал, что зоной наибольшего риска является область вокруг сварных швов в нижней части резервуара, следовательно, для предотвращения разрушения необходим тщательный контроль качества сварных швов, регулярная инспекция данной области с целью выявления зарождающихся трещин, также желательным является применение специальных методов сварки, позволяющих предотвратить попадание атомарного водорода в металл сварного шва.

Основной расчет был проведен при помощи метода конечных элементов, также была рассмотрена возможность использования вариационных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пенькова М.М. Природный газ. Метан / М.М. Пенькова, С.Ю. Пирогова. – М: Недра. – 2006. – 848 с.
2. Производство, хранение и транспорт сжиженного природного газа / А.М. Шаммазов, Р.К. Терегулов, Б.Н. Мастобаев, Г.Е. Коробков. – СПб: Недра. – 2007. – 152 с.
3. Солнцев Ю.П. Материалы для низких и криогенных температур: [энциклопедический справочник] / Ю.П. Солнцев, Б.С. Ермаков, О.И. Слепцов. – СПб: Химиздат. – 2008. – 768 с.
4. Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Б.Ф. Косолапов и др. // В 2-х т. – М.: Машиностроение, 1986.
5. Livingston G. и др. Минимизация риска воздействия криогенных веществ на установки СПГ // Нефтегазовые технологии. – 2009. – № 12. – С. 73-78.
6. Баррон Р.Ф. Криогенные системы / Р.Ф. Баррон. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 408 с.
7. Розенштейн И.М. Особенности хрупкого разрушения стальных сварных резервуаров // Территория Нефтегаз. – 2008. – №9. – С. 30-35.
8. Болотин В.В. Механика многослойных конструкций / В.В. Болотин, Ю.Н. Новичков. – М: Машиностроение, 1980. – 375 с.

КОНДЕНСАЦИОННАЯ ОЧИСТКА НЕОНОГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ ОТ АЗОТА ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

Графов А. П., Васютинская Н.А., ОГАХ

В большинстве современных установок предварительной очистки неоногелиевой смеси используется принцип конденсации азота, содержащегося в этой смеси, при давлении, равном давлению в её источнике – ВРУ [1]. При этом в качестве хладагента может использоваться только жидкий азот. Минимальная концентрация азота в очищенной смеси 4...8% об. достигается в концевой ступени установки за счёт понижения температуры жидкого азота откачкой его паров водокольцевым вакуум-

ным насосом. Очищенная неонгелиевая смесь сжимается компрессором и направляется в баллоны.

Более компактной и экономичной является установка, в которой конденсация азота, содержащегося в сырой неонгелиевой смеси, происходит при высоком давлении 5...15 МПа. В этом случае сырая неонгелиевая смесь сначала сжимается тем же компрессором, а затем, при высоком давлении подаётся в установку. Очищенная в установке неонгелиевая смесь направляется в баллоны. Относительно высокое давление смеси в аппаратах такой установки позволяет осуществить конденсацию азота из смеси при температуре более 78 К, что даёт возможность использовать здесь в качестве хладагентов все холодные продукты ВРУ. В случае использования в качестве хладагента жидкого азота то же значение концентрации азота в очищенной смеси 4...6% об. достигается в одной ступени очистки без использования откачки паров жидкого азота вакуумным насосом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.Л., Симоненко Ю.М. Криогенные технологии извлечения редких газов. – Одесса: ПО «Изд.центр», 2009. – 232 с.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ПЕРВИЧНОГО ОБОГАЩЕНИЯ НЕОНОГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ

Бондаренко В.Л., Дьяченко Т.В., ОГАХ

Концентраты легких инертных газов редких газов извлекают из атмосферного воздуха в виде побочных продуктов при получении больших количеств кислорода или азота. При этом ряд воздуходелительных установок (ВРУ) не оснащен специальными аппаратами для первичного концентрирования (АПК) неонгелиевой смеси. Потенциал таких установок только в Украине составляет 60 тыс. $\text{нм}^3/\text{год}$ смеси Ne-He. Однако переработка низкопотенциального газового сырья традиционными методами затруднена из-за малого содержания в нем неона и гелия. Модернизация действующих ВРУ с целью введения в их схему АПК связана с технологическими ограничениями и не всегда отвечает интересам потребителей основных целевых продуктов (O_2 и N_2). Более перспективный путь – ос-

нащение ВРУ внешними и относительно автономными системами обогащения.

На кафедре криогенной техники ОГАХ разработан внешний аппарат для повышения концентрации неонгелиевой смеси с 1...3% до 40...60% (Ne+He) [1]. Такой состав смеси допускает дальнейшее обогащение в промышленных дефлегматорах [2].

В состав созданной установки входит эффективная насадочная ректификационная колонна с трубчатым конденсатором. Для его охлаждения используется преимущественно отбросной кубовый продукт, содержащий >99,9% N₂. Дополнительно в конденсатор подается внешний жидкий азот в количестве до 10% от суммарного расхода хладоносителя. Работа АПК обеспечивается за счет использования перепада давлений между нижней ректификационной колонной ВРУ (0,45...0,6 МПа) и уровнем окружающей средой. Расход смеси на входе составляет 200 нм³/ч.

Проведено сопоставление технико-экономических показателей двух вариантов включения АПК в технологический контур переработки неонгелиевой смеси (рис. 1):

1. Аппарат первичного обогащения не содержит вакуумной ступени и выдает смесь с концентрацией 60% Ne+He (см. левую часть рис. 1). Этот продукт затем перевозится на предприятие для концентрирования в дополнительном дефлегматоре при давлении 1,0 МПа и окончательной очистки в блоке адсорберов.

2. АПК содержит вторую вакуумную ступень и обеспечивает на выходе смесь с концентрацией 80...90% Ne+He (см. правую часть рис. 1). Обогащенный продукт перевозится в пункты централизованной переработки, обогащается и очищается по технологии, соответствующей п. 1.

На графиках (рис. 1) показаны удельные затраты транспортно-промышленного комплекса при различных давлениях в АПК.

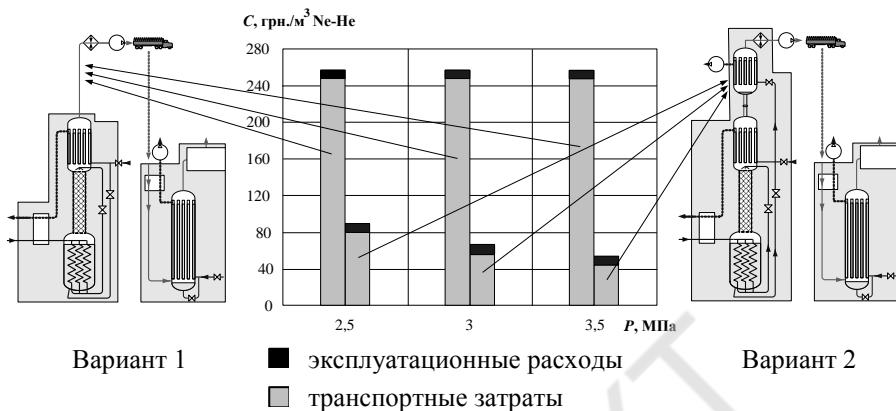


Рис. 1. Результаты расчетов удельных затрат на обогащение и очистку неонгелиевой смеси, (концентрация Ne+He в смеси для второго варианта обогащения 93%; расстояние перевозки сырья $L = 1000$ км)

Включение вакуумной ступени в состав установки (вариант 2) предполагает увеличение капитальных затрат на создание АПК на 10...20%. Однако за счет снижения транспортных издержек и эксплуатационных расходов на окончательную очистку суммарные затраты на переработку неонгелиевой смеси уменьшаются в 3...6 раз. При увеличении расстояния перевозки сырья $L > 1000$ км доля транспортной составляющей в приведенных расходах будет увеличиваться из-за влияния объема бесполезно перевозимой примеси (N_2) и эквивалентного количества оборотной тары.

ВЫВОДЫ:

1. Внедрение разработанных аппаратов для первичного обогащения неонгелиевой смеси на установках, не оборудованных узлами первичного обогащения, позволит увеличить выпуск неона и гелия на 10...15%.
2. Для удаленных источников сырья АПК должны включать дополнительную вакуумную ступень, использование которой позволяет снизить приведенные затраты на получение Ne-He-смеси в несколько раз.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Новые технологии извлечения концентратов редких газов / В.Л. Бондаренко, Н.П. Лосяков, Ю.М. Симоненко и др. // Технические газы. – 2011. – № 1. – С. 42-52.
2. Бондаренко В.Л., Дьяченко Т.В., Симоненко Ю.М. Технологии обогащения Ne-Ne смеси в ступенчатых дефлегматорах // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2010. – № 5 – С. 21-28.

ЗАСТОСУВАННЯ ЕТАЛОННОГО ЯДЕРНО-КВАДРУПОЛЬНОГО ТЕРМОМЕТРА ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ І АТЕСТАЦІЇ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ СЕНСОРІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

Леновенко А.М., ЛНУ ім.І.Франка, м. Львів
Паракуда В.В., ДП "НДІ "Система", м. Львів
Ковальчук Н.О., ЛНУ ім. І. Франка, м. Львів

Науково-технічною основою забезпечення єдності вимірювання у державі є еталонна база. Особливої уваги заслуговує низькотемпературна метрологія. Це пов'язано з розвитком ракетно-космічної техніки, потужних зріджувачів газів, використанням явища надпровідності, великих холодильних установок і т.п., де виникла необхідність у проведенні точних вимірювань низьких температур. Для цього потрібні сенсори, які б зберігали калібровочні характеристики при низьких температурах, що не завжди має місце. Платинові терморезистивні перетворювачі, що широко використовуються для вимірювання середніх і високих температур при низьких температурах мають багато недоліків: зменшується чутливість, відповідно знижується точність вимірювання, крім того виникає розкид градувальник характеристик, відхилення стандартної калібровочної характеристики. При застосуванні напівпровідникових перетворювачів, наприклад кремнієвих транзисторних структур, ряд проблем усувається, але кожен сенсор або вимірювальний засіб вимагає індивідуальної калібровки, процедури громіздкої та дорогої з низькою продуктивністю праці.

Львівським національним університетом ім. І. Франка спільно з Державним підприємством "Науково-дослідний інститут метрології вимі-

рювальних і управляючих систем (ДП "НДІ "Система") було створено метрологічний комплекс для калібрування і атестації низькотемпературних сенсорів і засобів вимірювання температури в діапазоні 77...400 К на базі еталонного ядерно-квадрупольного термометра I розряду. Для відтворення діапазону низьких температур використано ультра криостат Ultra-Kryostat Typ N180 Bedienungsanleitung (Німеччина). Ядерно-квадрупольний резонансний (ЯКР) термометр, розроблений ЛНУ ім. І. Франка і атестований Національним науковим центром "Інститут метрології" (м. Харків), не має аналогів в межах України і Європи. ЯКР-термометр на сучасному етапі розвитку контактної термометрії є одним із найточніших і стабільних засобів вимірювання температури. Похибка вимірювання складає ~ 1 мК в діапазоні 77...400 К. Сенсор ЯКР-термометра одноразово відградуваний не потребує періодичних метрологічних калібровок. Термометр дозволяє відтворити неперервну шкалу у вказаному діапазоні. Прилад складається з виносного сенсора з детектором ядерно-квадрупольного резонансу і блока аналого-цифрової обробки сигналів з цифровим дисплеєм та інтерфейсом зв'язку із зовнішнім комп'ютером. Управління процесом вимірювання виконується однокристальним мікроконтролером. Інтерфейс реалізовано на основі мікроконтролера PSoC (Programmable System-On-Chip) компанії Cypress Semiconductor. Розмір плати становить 12×30 мм. Процес вимірювання повністю автоматизований.

Після підключення ЯКР-термометра до комп'ютера, прилад автоматично ідентифікується і починається передача даних. При цьому на дисплей виводиться поточна інформаційна частота та обрховане за спеціальним апроксимаційним поліномом відповідне значення температури. Всі вимірювання автоматично зберігаються у файлі Log.txt в папці програми. У разі перезапуску програми чи повторного включення приладу, у цьому файлі буде зазначено рядок з часом та датою початку нових вимірювань. Нову серію вимірювань можна розпочати, використавши відповідний пункт меню.

Відтворення діапазону низьких температур виконується ультракриостатом в діапазоні $-40... -180^{\circ}\text{C}$ в повітряному середовищі або з допомогою рідкого електроліту. Як охолоджувач використовується рідкий азот.

Діапазон відтворення температури:

- в повітряному середовищі –30... –180°C,
- в рідкому електроліті –40... –180°C.

Точність відтворення температури

- в повітряному середовищі ± 2°C,
- в рідкому електроліті ± 1°C.

Холодоагент – рідкий азот (точка кипіння мінус 195°C).

Скляна посудина Дьюара має об'єм 5 л.

Метрологічний комплекс дозволяє підняти продуктивність праці при виконанні метрологічних робіт в десятки разів в порівнянні з традиційними, в яких застосовуються платинові термоперетворювачі та реперні температурні точки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василюк В.М., Леновенко А.М. Ядерно-квадрупольний робочий еталон для метрологічної атестації температурних сенсорів // Сенсорна електроніка та мікросистемні технології. – Одеса: ОНУ ім. І.І. Мечнікова. – 2007. – № 1. – С. 28-34.
2. Еталонний ядерно-квадрупольний резонансний термометр ЯКРТ-5М (www.uis.com.ua/transfercenter/Industry/192/).
3. Сайт компанії компанії Cypress Semiconductor (www.cypress.com/psoc).

ОБОГАЩЕНИЕ НЕОНОГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ. МЕМБРАНЫ ИЛИ ДЕФЛЕГМАТОР ?

**Бондаренко В.Л., Дьяченко О.В., Симоненко Ю.М., ОГХ
Кошевой С.А., ООО «Айсблик»**

Сырая неонгелиевая смесь на выходе из блоков разделения воздуха содержит около 50% азота. Транспортировка такого продукта для окончательной очистки на специализированных предприятиях связана со значительными транспортными издержками. Чтобы уменьшить затраты на перевозку в местах получения сырья проводят обогащение концентрата. Для этих целей поток охлаждают до температур $T = 66...77,4$ К, при которых наступает частичная конденсация N_2 из смеси. В качестве хлада-

гента в дефлегматорах используют чистый азот, кипящий при пониженном давлении

В настоящее время на ряде кислородных производств устанавливаются новые блоки разделения воздуха с ограниченной выдачей жидких криопродуктов. Это затрудняет обеспечение хладагентом типовых систем конденсационной очистки. Обогащение неонгелиевой смеси на таких предприятиях возможно с использованием мембранных технологий.

Большинство аппаратов с селективной проницаемостью компонентов выпускаются для разделения сжатого воздуха. При этом в виде непроницаемого (не прошедшего через стенку) потока получают газообразный азот среднего давления $y_{N_2} = 95...99,9\%$. Устройство мембранного блока и обозначение основных эксплуатационных параметров показаны на рисунке 1.

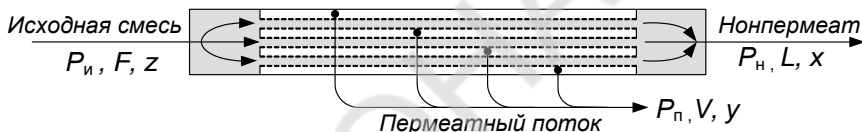


Рис. 1. Упрощенная схема мембранного сепаратора с полыми волокнами и прямоточным движением пермеата в дренажном канале; $P_i \approx P_n$ и

$P_n \approx 1$ бар (абс.) – давления потоков; F, L и V – расходы;

z, x и y – концентрации

Для изучения возможности использования типовых модулей взамен дефлегматоров Ne-He-смеси, нами изучены характеристики мембран, выпускаемые компаниями «Air Products» и «Generon IGS». На первом этапе исследований экспериментальным путем определены константы проницаемости отдельных компонентов неонгелиевой смеси (Ne, He и N_2). С этой целью для каждого типа мембран был создан отдельный стенд, оснащенный расходомерами и современным аналитическим оборудованием (рис. 2).

В дальнейшем четыре типа мембран были исследованы на смесях-имитаторах, соответствующих составу неонгелиевого концентрата. На рисунке 3 для примера показана зависимость коэффициента извлечения

целевых продуктов (Ne и He) от содержания примеси (N₂) в пермеате. Там же для сравнения даны характеристики дефлегматора при различных температурах фазового равновесия.

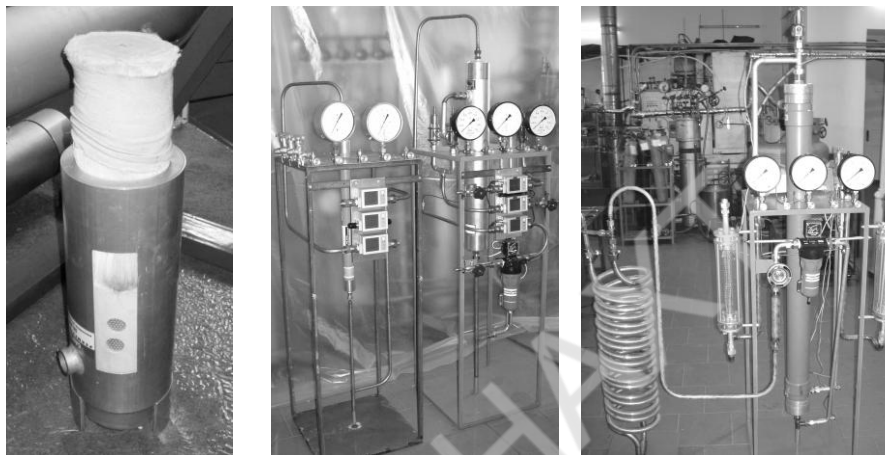


Рис. 2. Устройство мембранного модуля и стендовое оборудование для исследования рабочих характеристик мембран

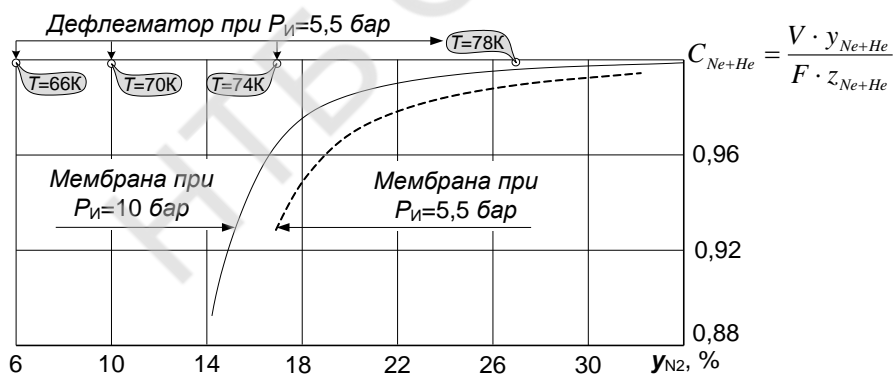


Рис. 3. Влияние содержания азота y_{N_2} в пермеате на степень извлечения C_{Ne+He} легких инертных газов в мембране при начальной доле примесей $z_{N_2} = 48\%$

Анализ графиков на рис. 3 показывает, что по эффективности одиночная мембрана уступает дефлегматору. Эксплуатационные недостатки мембранных сепараторов могут быть частично устранены за счет использования ступенчатых установок с рециркуляцией пермеата. Несмотря на некоторое усложнение, каскадные схемы найдут применение в технологии обогащения Ne-He-смеси, поскольку на ВРУ с ограниченным расходом жидкого азота у мембранных систем нет альтернативы.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ РАЗДЕЛЕНИЯ ГЕЛИЕНЕОНОВОЙ СМЕСИ

Графов А.П.¹, Далаков П.И.², Ионов М. И.², Лосяков Н. П.²

¹Одесская государственная академия холода

²ООО «Айсблик», г. Одесса

Адсорбционную очистку гелиенеоновой смеси на уровне температур 78 К с азотным охлаждением традиционно принято считать [1, 2, 3] малозатратной. Однако в настоящее время в связи с растущим дефицитом жидкого азота требуется анализ затрат криоагента с целью выявления путей их снижения.

С этой целью авторами в период 2010 году был проведен мониторинг работы установки очистки гелиенеоновой смеси, действующей в составе производственного комплекса ООО «Айсблик».

В рамках данной работы рассматриваются: затраты жидкого азота; затраты электроэнергии; расход оборотной охлаждающей воды.

Проведенный анализ показывает, что значительная часть жидкого азота, затрачиваемая за 1 цикл работы установки, используется неэффективно. В частности, до 5,96% криоагента, расходуемого за цикл, испаряется из-за дросселирования; 9,54% азота затрачиваются на циклическое охлаждение не самого адсорбента, а элементов конструкции; 11,15% криоагента, составляющие остаток жидкости в азотной рубашке к концу рабочей стадии, испаряются в процессе регенерации адсорбента.

38,5% жидкого азота циклически испаряется для получения греющего газа, что сопровождается избыточными затратами электроэнергии.

Проведенный анализ производственных затрат позволяет сделать вывод о низкой эффективности использования жидкого азота, а также потребляемой электроэнергии. Также сделан вывод о высоких производственных затратах, изначально заложенных в установках с термической регенерацией поглощательной способности адсорбента.

Результаты анализа служат предпосылками для выбора направления совершенствования рассмотренной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы оптимизации геометрических размеров адсорберов, используемых в технологиях очистки редких газов / В. Л. Бондаренко, И.А. Лосяков, О.Ю. Симоненко, О.В. Дьяченко, Ю.М. Симоненко // Технические газы. – 2010. – № 5. – С. 12-23.
2. Техничко-экономическое обоснование степени предварительной очистки Ne-Ne смеси / В.Л. Бондаренко, Ю.М. Симоненко, О.В. Дьяченко, С.Ю. Вигуржинская // Технические газы. – 2001. – №1-2. – С. 20-23.
3. Криогенные технологии производства редких газов. Резервы и задачи сырьевого комплекса / В.Л. Бондаренко, С.Ю. Вигуржинская, Н.П. Лосяков, Ю.М. Симоненко // Холодильна техніка і технологія. – 2009. – № 1 (117). – С. 47-52.

ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕ КАК МЕТОД РАЗДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Графов А.П.¹, Ионов М. И.², Лосяков Н. П.²

¹Одесская государственная академия холода

²ООО «Айсблик», г. Одесса

Существующая литература по газовым гидратам затрагивает многочисленные области их применения: добыча природного газа из метангидратов, транспортирование и хранение газов, медицина. Однако ни патенты, ни научные публикации не охватывают в должной мере такую область возможного применения явления гидратообразования, как разделение газовых смесей.

Между тем, протекание реакций гидратообразования для ряда важных промышленных газов, таких как метан, углекислый газ, криптон и ксенон, происходит при близких к климатическим температурах и средних давлениях. Это потенциально делает разделение газовых смесей при помощи образования гидратов отдельных компонентов экономически более выгодным по сравнению с криогенными способами разделения, при том условии, что удастся достичь равной чистоты продукта.

Авторами рассмотрен ряд патентов и научных материалов по газовым гидратам.

Проведенный обзор позволяет сделать вывод о том, что данное направление в разделении газов является перспективным. Также продемонстрирована необходимость углублённого изучения гидратообразования в среде инертных газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физико-химические особенности газовых гидратов: учебное пособие / С.Т. Гуляниц, Г.И. Егорова, А.А. Аксентьев. – Тюмень: ТюмГНГУ. – 2010. – 152 с.
2. Ballard L., Sloan E.D. Jr. The next generation of hydrate prediction IV. A comparison of available hydrate prediction programs // Fluid Phase Equilibria. – 216 (2004) 257-270.
3. Пат. № 2398813 РФ «Способ получения, замещения или добычи гидрата газа» / Икегава Йодзиро.
4. Пат. № 2045718 РФ «Установка для получения газовых гидратов»/ Комиссаров Константин Борисович, Финоченко Виктор Анатольевич.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ НА ПУЛЬСАЦИОННОЙ ТРУБКЕ

Кухаренко В. Н., Кузнецов В. В., НТУ «ХПИ», г. Харьков

Низкотемпературные охладители на пульсационной трубке (НОПТ) используются главным образом в криогенной технике. Но в связи с повышением требований по экологической безопасности к устройствам хо-

лодильной техники, рассматривается их применение в умеренном температурном диапазоне. В таких охладителях отсутствуют подвижные элементы в низкотемпературной части, они имеют большой рабочий ресурс и сравнительно простую конструкцию. КПД этих устройств ниже, чем у цикла Стирлинга или Карно, поэтому для их применения необходима оптимизация с целью получения максимальной эффективности НОПТ. Для этого может быть использована математическая модель, описанная в работе [1].

Для обеспечения высокой точности расчета интегральных характеристик НОПТ (работа компрессора, холодопроизводительность и т. д.) необходим правильный выбор эмпирических зависимостей для расчета коэффициентов теплообмена и гидравлического сопротивления в элементах охладителя. Принципиальная схема охладителя представлена на рисунке 1.

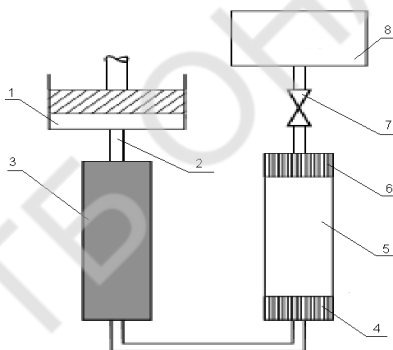


Рис. 1 – Принципиальная схема НОПТ: 1 – компрессорная полость, 2 – соединительная трубка, 3 – регенератор, 4 – теплообменник нагрузки, 5 – ПТ, 6 – холодильник, 7 – клапан, 8 – ресивер

В работах по исследованию НОПТ не рассмотрено влияние гидравлического сопротивления на характеристики охладителя и не проведен анализ применимости критериальных уравнений для расчета коэффициентов сопротивления.

Цель работы: получение универсальных зависимостей для расчета коэффициентов теплоотдачи в пульсационной трубке (ПТ) и исследование влияния гидравлического сопротивления на интегральные характеристики НОПТ.

На основании литературного обзора было выделено два подхода для расчета теплового потока от рабочего тела к стенке ПТ: действительная и комплексная запись граничных условий третьего рода (закон Ньютона).

При использовании действительной формы записи закона Ньютона, как правило, применяют критериальные уравнения, полученные для стационарного случая. А комплексная форма записи учитывает нестационарность процессов и требует дополнительного анализа эмпирических соотношений.

В качестве объектов исследования были выбраны три охладителя с известными экспериментальными данными [2, 3, 4].

Проведен литературный обзор существующих зависимостей для расчета коэффициентов сопротивления в регенераторах и исследована их применимость для расчета характеристик НОПТ.

Расхождение по интегральным характеристикам с экспериментальными данными не превышает 20%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кухаренко В.Н., Кузнецов В.В. Математическое моделирование теплофизических процессов низкотемпературных газовых при помощи структурно-модульного подхода // Холодильная техника і технологія. – 2009. – № 5 (121).
2. Yuan S.W.K., Radebaugh R. Blind test on the pulse tube refrigerator model (PTRM) // Advances in Cryogenic Engineering. – 1996. – vol. 41. – P. 1383-1388.
3. Huang B.J., Chuang M.D. System design of orifice pulse-tube refrigerator using linear flow network analysis // Cryogenics. – 1996. – vol. 36. – P. 889-902.
4. Huang B.J., Yu G.J. Experimental study on the design of orifice pulse tube refrigerator // International Journal of Refrigeration. – 2001. – vol. 24. – P. 400-

МЕХАНИЗМ ВОЗБУЖДЕНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРАХ.

В.Л. Бондаренко, Н.П. Лосяков, П.И. Далаков
ООО «Айсблик», Одесса, Украина

Рассмотрена модель термоакустического генератора (ТАГ) (рис. 1), основная задача которого заключается в преобразовании тепловой энергии в энергию акустических колебаний.

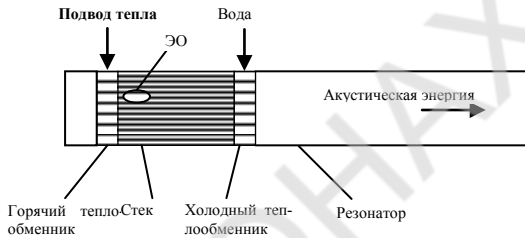


Рис. 1. Схема термоакустического генератора (ЭО – элементарный объем)

Для представления механизма превращения высокопотенциального тепла в акустическую энергию выбран элементарный участок капилляра в стекле dx , и рассмотрено поведение заключенного в этот участок колеблющегося элементарного объема газа dv .

Авторами записаны классические уравнения теплового потока по стенке, имеющей переменную температуру. Получено дифференциальное уравнение теплового потока по стенке, которое можно использовать для расчета теплопередачи в классических моделях ТАГ. Однако в случае наличия циклических колебаний направление теплового потока будет постоянно менять свой знак.

Также проанализирована классическая модель для теплового потока по газу, заключенному в участке элементарного объема dx , записано уравнение для теплового потока при условии постоянства массы газа на этом участке.

Установлено что для определения теплового потока при наличии в нем пульсаций давления и температуры, использование классических уравнений теплопередачи весьма сложно. Для определения величины теплового потока в таких условиях следует знать гидродинамическую и термическую характеристику газа при наличии автоколебаний. В этих условиях между нагретым телом и средой осуществляются, помимо среднего во времени, так же и пульсирующий с частотой автоколебаний перенос тепла от нагревателя к колеблющейся среде.

Чтобы уменьшить количество допущений, рассмотрена модель ТАГ для случая, когда стенка адиабатически изолирована.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Petculescu G. Fundamental measurements in standing – wave and traveling wave termoacoustics. A dissertation presented to the faculty of the college of arts and sciences of ohio university in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. – June 2002. – P. 27-28.
2. Галиуллин Р.Г., Рева И.П., Халилов Г.Г. Теория термических автоколебаний. – Изд. Казанского университета. – 1982. – С. 65.
3. Раушенбах Б.В. Вибрационное горение. – Гос. Изд. Физ-Мат. Лит. – М., 1961.
4. Галиулин Р.Г., Назаренко Т. И. Приближенная теория эффекта Рийке. Области возбуждения. – Деп. ВИНТИ. – №2603-79 Деп. – 23 с.

ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ХОЛОДА

Кухаренко В.Н., Дымерцов Д.А.

**Национальный Технический Университет
«Харьковский Политехнический Институт»**

Одно из перспективных направлений криогенной и холодильной техники в развитии безмашинных газодинамических методов получения низких температур, есть холодопроизводящее расширительное устройство с резонансной трубкой, получившие в дальнейшем название волновые генераторы холода (ВГХ). Данное устройство соединяет в себе простоту и

надежность конструкции, в отличие от детандеров или газовых криогенных машин, поскольку имеет в своей конструкции простые движущие части или не имеет их совсем. Среди большого количества исследователей, которые плодотворно работали в развитии волновых генераторов холода, следует назвать имена таких известных ученых: Архаров А.М., Калинин И.М., Бондаренко В.А., Галиулин Р.Г., Михальченко Г. С., Кухаренко В.М. Дж . Вилсон (J. Wilson), Дж. Свифт (J. Swift), Зимин Ху (Zimin Hu), Хамед А (A. Hamed) и др.

До настоящего времени окончательно не установлен механизм возникновения акустических колебаний в ВГХ. За долгое существование волновых генераторов холода возникли различные гипотезы, описывающие тепловыделения в трубке, также не до конца остается открыт тепловой эффект возникающий в резонансной трубке.

Несмотря на простоту конструкции ВГХ, возникают различные трудности в исследовании процессов происходящих в устройстве, а именно: визуализации процессов происходящих в устройстве; размещения различных датчиков для исследования процессов; высокая частота пульсации процесса, в результате чего очень трудно исследовать сам процесс экспериментально. Для удобства проведения исследований разрабатываются математические модели, на основе которых создаются исследователями программы расчета, так же прибегают к использованию корпоративных программных пакетов, таких как WIND либо FlowVision с помощью которых проводятся исследования.

Все это дает исследователю целую площадку, для изучения процессов происходящих в данном устройстве с использованием математического моделирования.

Целью данного исследования является разработка методов и процедур принятия целесообразных решений расчета волновых генераторов холода, а также формирование баз данных современной тенденции развития волновых генераторов, в криогенной и холодильной технике.

Объектом исследования является математическая модель, которая описывает теплофизические и газодинамические процессы, которые протекают у волновых генераторов холода.

В исследовании, волновые генераторы холода классифицируются по типу газораспределения на статические и динамические генераторы. Рассмотрены существующие гипотезы, описывающие процессы в генераторах, различные конструкционные решения, так же существующие математические модели, описывающие процессы в волновых генераторах. Изучив рассмотренные материалы, нами были составлены расчетные схемы генераторов, которые включают основные элементы генераторов; математических модели, описывающие исследуемые процессы, для каждого из типов генераторов; выбраны методы решения уравнений; выбраны необходимые граничные условия. В дальнейшем математические модели, были запрограммированы в среде Lazarus. В результате чего были разработаны программы расчета, позволяющие исследовать газодинамические и тепловые характеристики волновых генераторов холода.

Все исследования велись с использованием воздуха, в качестве рабочего вещества. Выбраны оптимальные шаги по времени от 10^{-6} до 10^{-7} с. Рассматривались различные геометрии трубки (длины трубок от 170 мм до 1 м и диаметры от 4 до 10 мм). Учитывались, в исследование, все рекомендации по геометрическим характеристикам резонансной полости и проходного диаметра сопла [1]. Рассмотрены волновые и тепловые процессы, происходящие в волновых генераторах холода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.Л. Создание и исследование волновых криогенераторов и их применение в технологии получения неона высокой чистоты // Дис. док. техн. наук 05.04.03. – М. – 2003.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕТАНДЕРНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА В ЦИКЛЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Поддубная М.В., Троценко А.В.

Одесская государственная академия холода

Анализ работоспособности теплообменника, который сводится к проверке возможного выполнения второго начала термодинамики при ус-

ловиях, отвечающих ее первому началу, является распространенной задачей расчета циклов низкотемпературных систем. Известны способы осуществления такой проверки, основанные на различных формулировках второго закона термодинамики, но не разработаны методы восстановления работоспособности теплообменных аппаратов в случаях, когда результаты расчетов показывают, что при заданных параметрах цикл не может быть реализован из-за противоречий между началами термодинамики.

В данной работе представлены результаты восстановления термодинамической работоспособности двухпоточного теплообменника детандерной ступени предварительного охлаждения в цикле высокого давления. Настоящее исследование проводилось компьютерным моделированием указанного цикла без учета теплопритоков из окружающей среды и гидравлических потерь. При этом первоначально искусственно создавалась ситуация, когда в рассматриваемом аппарате нарушался второй закон термодинамики. Далее варьированием отношения расходов обратного и прямого потоков d добивались восстановления термодинамической работоспособности этого аппарата. Критерием работоспособности являлся минимальный температурный напор между потоками рабочего тела.

Выбор величины d в качестве варьируемого параметра дает возможность осуществлять решение поставленной задачи без изменения схемы цикла.

В процессе компьютерных экспериментов рассчитывались энергетические показатели рассматриваемого теплообменника в рефрижераторном режиме установки при заданном значении ее холодопроизводительности. Анализ показателей показал, что восстановление работоспособности теплообменника сопровождается монотонным ростом величины эксергетических потерь и монотонным уменьшением эксергетического КПД. При этом тепловая нагрузка теплообменника изменялась незначительно.

Созданное программное обеспечение может быть использовано для решения задач, связанных с восстановлением термодинамической работоспособности циклов криогенной техники.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ТЕЛ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ ПО ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОМУ КУБИЧЕСКОМУ УРАВНЕНИЮ СОСТОЯНИЯ

Троценко А.В., Валякина А.В.

Одесская государственная академия холода

Современные расчетные методы, используемые при проектировании технологических процессов разделения газовых смесей, создании эффективных низкотемпературных систем, работающих на смесях хладагентов, предполагают использование надежных сведений о термодинамическом поведении рабочих тел в виде полуэмпирических уравнений состояния. В частности, в отечественных и зарубежных прикладных программах для газовой и нефтяной промышленности активно используются кубические уравнения состояния (КУС), которые достаточно точно описывают фазовое равновесие, критические параметры, а также равновесные свойства. Они чаще других единых уравнений состояния применяются для моделирования термодинамических свойств крио- и хладагентов.

В настоящей работе изложена методика определения констант чистых веществ для трехпараметрического кубического уравнения состояния, являющегося развитием известного уравнения состояния Редлиха-Квонга. Представленное уравнение состояния позволяет, в отличие от многих других распространенных форм КУС, обеспечить совпадение расчетных и принятых значений давления, температуры и объема в критической точке вещества.

Приведен алгоритм вычисления псевдокритических параметров смеси, полученных на основе критических условий для чистых веществ. Предложенный способ определения псевдокритических параметров смеси позволяет разделить соответствующей области термодинамической поверхности состояний по числу корней объема как функции давления и температуры. Такое разделение играет существенную роль для исследования фазовой диаграммы смеси, в частности, при решении задачи растворимости газа в жидкости.

Проанализирована корреляция подгоночного параметра температурной функции рассматриваемого уравнения состояния от коэффициента сжимаемости в критической точке и фактора ацентричности.

Предложен обобщенный алгоритм определения термодинамических функций чистых веществ в условиях парожидкостного равновесия при заданных значениях температуры или давления, учитывающий особенности поведения изобар и изотерм кубического уравнения состояния в двухфазной области.

Представленные алгоритмы могут быть распространены и на другие модификации КУС благодаря качественно одинаковому виду изотерм и изобар в гетерогенной области термодинамической поверхности. Как показывают проведенные тесты, они обеспечивают сходимость процессов вычислений во всем диапазоне изменений температуры и давления, характерном для кривой упругости. Данные алгоритмы могут быть рекомендованы не только для чистых веществ, но и для смесей.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕЧЕНИЙ ЖИДКОСТИ ПО НАКЛОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОЛЛЕКТОРА-РЕГЕНЕРАТОРА.

Антонова А.Р., Дорошенко А.В., ОГАХ

Основным рабочим звеном плёночного теплообменного аппарата является насадка – это контактное устройство, состоящее из большого числа вертикальных равноотстоящих параллельных листов. Благодаря такой организации двухфазных течений обеспечивается большая поверхность контакта при низком гидравлическом сопротивлении. Кроме того насадка должна обеспечивать также интенсивный тепло- и массоперенос. Эффективность и стабильность работы плёночных аппаратов во многом зависит от гидродинамической обстановки в контактном устройстве такого аппарата. Здесь жидкость под действием сил тяжести стекает тонким слоем по поверхности насадочного элемента, а газ движется в свободном пространстве между этими орошаемыми элементами.

Выполняются теоретические и экспериментальные исследования характеристик газо-жидкостных коллекторных регенераторов. Основной теоретической проблемой является изучение особенностей течения тон-

ких слоев жидкости, включая вопросы исследований течений по вертикальным и наклонным поверхностям (гладким, сложнопрофилированным), вопросы устойчивости течений и получение расчетных зависимостей для определения толщины стекающих пленок и инженерных рекомендаций для разработки более эффективных теплообменных аппаратов.

Для исследования особенностей течения пленки жидкости используется математическая модель волнового плёночного течения по наклонной поверхности.

Выполненный анализ показал отличия течений по вертикальной и наклонной поверхностям (рис. 1, 2):

а. Темп роста средней толщины пленки жидкости при течении по наклонной поверхности ($20 \leq Re \leq 90$) выше, чем при течении по вертикальной;

б. При движении по наклонной поверхности влияние скорости газа на волновые характеристики течения меньше, чем в случае вертикальной поверхности течения.

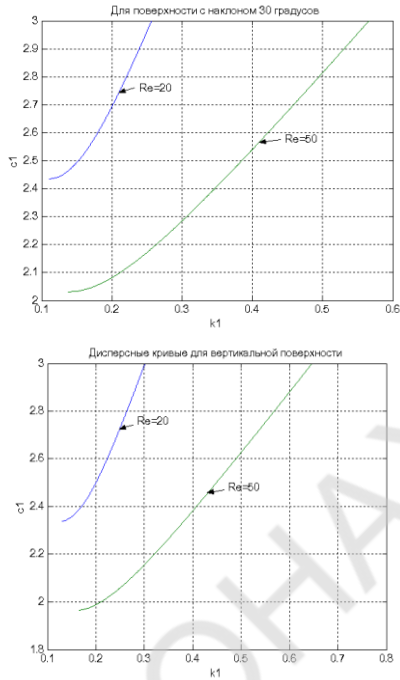


Рис. 1. Дисперсные кривые: А – для угла наклона $\beta = 30^0$,
 Б – для угла наклона $\beta = 90^0$, для воды:
 – при $Re = 20$, $We = 33,0401$, γ_{max} при $c_l = 2,339$;
 – при $Re = 50$, $We = 7,1748$, γ_{max} при $c_l = 1,97$.

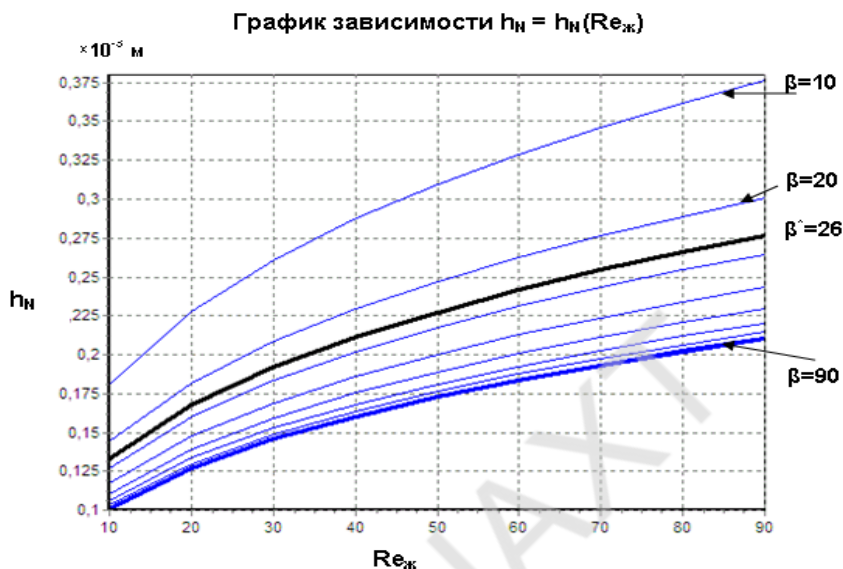


Рисунок 2. Средняя толщина пленки жидкости при течении по вертикальной и наклонной поверхностям (угол наклона $\beta = 10^\circ \dots 90^\circ$, угол $\beta = 26^\circ$ соответствует оптимальному углу наклона коллектора в Одессе[1], число Рейнольдса Re изменяется от 10 до 90).

СОЛНЕЧНЫЕ ОСУШИТЕЛЬНО-ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОМАСООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

В. П. Данько, А.В. Дорошенко, ОГАХ

В последние годы в мировой солнечной энергетике отмечается высокий интерес к разработке солнечных холодильных систем СХС. Испарительное охлаждение газов и жидкостей эффективно при сравнительно невысоком влагосодержании наружного воздуха $X_T < 12-12,5$ г/кг, то есть в условиях сухого и жаркого климата. В случае, когда $X_T > 12,5$ г/кг в качестве перспективного решения целесообразно использовать осушительно-испарительный принцип организации работы охладителя, основанный на предварительном осушении воздушного потока.

Для создания нового поколения солнечных холодильных систем СХС перспективно использование абсорбционного цикла открытого типа

с непрямой регенерацией абсорбента, заключающегося в предварительном осушении воздуха и последующем его использовании для испарительного охлаждения воды. Разработаны новые схемные решения для альтернативных (солнечных) систем СХС, в которых реализуется процесс испарительного охлаждения воды в градирне, подаваемой в систему водовоздушных теплообменников, расположенных непосредственно в кондиционируемом помещении, либо охлаждаемом объекте.

Разработаны принципы конструирования тепломасообменной аппаратуры для альтернативных систем (абсорбера-осушителя АПН, десорбера-регенератора ДПН и испарительных охладителей воды ГПН) с использованием подвижной псевдоожиженной насадки ПН и созданы базовые варианты таких тепломасообменных аппаратов в одно и многоярусном расположении подвижной насадки на опорно-распределительных решетках ОПР, выполненных в виде теплообменников с каналами регулярной (упорядоченной) структуры. Следует отметить, что при работе открытых систем и, особенно, при использовании растворов абсорбентов, вопрос об устойчивости работы тепломасообменной аппаратуры СХС в осушительном и охладительном контурах приобретает принципиальное и определяющее значение. В этой части исследования использованы теоретические и экспериментальные результаты работ, ранее выполненных в ОГАХ при создании вентиляторных градирен и воздухоохладителей с подвижной насадкой, а также практический опыт эксплуатации таких ТМА практически на всей территории бывшего СССР.

Для солнечной системы, обеспечивающей работу десорбера-регенератора ДПН, разработаны принципы конструирования металлополимерных жидкостных солнечных коллекторов СК/М-П на основе теплоприемника из многоканальной тонкостенной алюминиевой плиты и прозрачным покрытием из многоканальной тонкостенной плиты полимера (поликарбоната) в вариантах с одним и двумя прозрачными покрытиями ПП. В качестве экспериментального метода изучения рабочих характеристик разработанных СК был принят метод прямых сравнительных испытаний, при котором сравниваются характеристики двух вариантов СК с последующим сопоставлением результатов по тестовым международным методикам (DIN V 4757-3). Разработанное экспериментальное

оборудование позволяло проводить натурные испытания с учетом изменяющейся интенсивности солнечного излучения, и климатических параметров – температуры, облачности и ветронагрузки, а также прямые сравнительные испытания в летний и осенне-весенний периоды года.

Выполнен предварительный расчетный анализ характеристик СХС в широком диапазоне изменяющихся начальных условий, подтвердивший возможность создания таких систем и их высокие характеристики.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ Неміровський І.А., Потовська К.І., НТУ «ХПІ», м. Харків

Безвідмовна робота енергосистеми забезпечується механічною стійкістю її споруд, дуже велику небезпеку для цілісності повітряних ліній електропередачі (ПЛ) становлять вітрові та ожеледові навантаження, як окремо, так і у сукупності. Для магістральних електромереж (МЕМ) НЕК Укренерго була розроблена мережа відомчих автоматизованих метеопостів (МВАМ), мета яких збір і передача метеоданих для удосконалення існуючих конструкцій опор ПЛ відповідно до конкретного місця розташування, та попередження відмов. Забезпечення безперервного енергопостачання метеопосту розміщеного на підстанції здійснюється за рахунок мережі, але метеопост який знаходиться на ПЛ у «полі» потребує автономного джерела струму [1].

Існує декілька можливих автономних джерел це електрогенератори (дизельні, бензинові або газові), вони визначаються високою надійністю і економічністю, електрохімічні джерела енергії, фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) та вітроенергетичні установки (ВЕУ).

Оскільки метеопост знаходиться у великому віддаленні від населених пунктів це унеможливує довіз палива для електрогенераторів та деяких видів електрохімічних джерел струму. Незважаючи на досить невеликий потенціал відновлюваних джерел на території України економічно доцільним є використання саме фотоелектричних перетворювачів та вітроенергетичних установок, як окремо так і у гібридних системах.

Розроблено програму оптимізації вибору автономного джерела енергії в залежності від інтенсивності сонячного випромінювання і швидкості вітру різноманітних кліматичних зон України.

Проведено вимірювання потужності фотоелектричного перетворювача у місті Харкові у зимовий період (лютий), вимірювання проводились під кутом 45° нахилу фотоперетворювача . Базуючись на даних отриманих з установки були побудовані вольтамперні характеристики даного сонячного модуля. Одна з них представлена на рис. 1. З цих графіків була визначена номінальна потужність модуля. Побудовано графіки залежності номінальної потужності від часу доби.

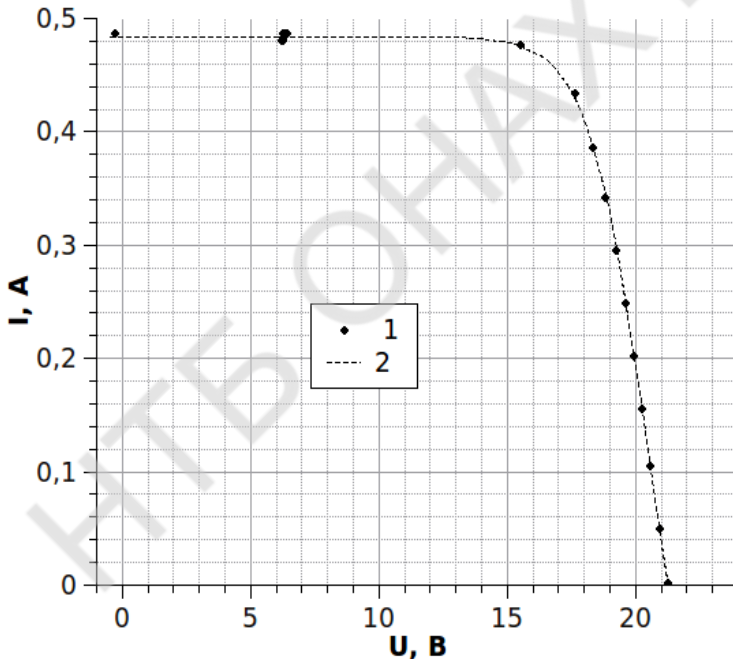


Рис. 1. Вольтамперна характеристика модуля.

1 – експеримент, 2 – апроксимація методом Больцмана.

Максимальна потужність фотоперетворювача складала в середині дня не більше 10 Вт, по паспортним даним номінальна потужність модуля 25 Вт. Це пояснюється тим що у лютому інтенсивність сонячного випро-

мінювання досить невелика, і під час вимірювань частина дифузної радіації була досить високою.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потовська К.І. Використання відновлюваних джерел енергії для живлення автоматизованого метеопосту на лінії електропередач // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2008. – № 6 (52).

РАЗРАБОТКА ГАЗО-ЖИДКОСТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Хамеша Малик, А.В. Дорошенко, ОГАХ

Солнечные системы осушительно-испарительного типа на основе открытого абсорбционного цикла разрабатываются как с прямой (непосредственной) регенерацией абсорбента [1, 4], так и с непрямой. Прямая (непосредственная) регенерация абсорбента снижает температурный уровень регенерации до температур 50-70°C, что обеспечивает возможность построения солнечных систем на основе плоских солнечных коллекторов-регенераторов и устраняет необходимость в десорбере традиционного типа и солнечной водонагревательной системе. В состав системы входят три типа солнечных коллекторов: воздушных СК/г, для подогрева воздуха, поступающего в помещение, водяных СК/ж, обеспечивающих горячее водоснабжение объекта и предварительный подогрев слабого раствора абсорбента перед системой регенерации, и газо-жидкостных солнечных коллекторов с гравитационным течением жидкостной пленки СК/г-ж, обеспечивающих процесс восстановления абсорбента и поддержание непрерывности цикла.

Газо-жидкостной солнечный коллектор является важнейшей частью системы регенерации (восстановления абсорбента) и представляет собой теплообменный аппарат, в котором движение воздушного потока обеспечивается солнечным разогревом (разностью плотностей воздуха на входе и выходе из СК/г-ж). Он включает теплоприемник (абсорбер), прозрачное покрытие (ПП) с воздушным зазором между ПП и теп-

лоприемником (каналом, по которому движется воздушный поток), и теплоизоляцию дна (ИЗ). Прозрачное покрытие для снижения тепловых потерь может выполняться многослойным, а также включать замкнутые каналы. Теплоприемник СК/г-ж имеет U-образную форму, выполнен из алюминиевого листа с черновым покрытием поверхности и обеспечивает одновременный прогрев как самого воздушного потока, так и абсорбента, стекающего в виде тонкой пленки по «дну» теплоприемника под воздействием сил гравитации. Дно теплоприемника, для повышения смачиваемости поверхности, может выполняться профилированным. Нагрев воздушного потока обеспечивает его движение через воздушный канал СК/г-ж; нагрев абсорбента обеспечивает необходимые условия для реализации процесса десорбции (удаления водяных паров из раствора, диффузии паров в воздушный поток и выноса водяных паров в окружающую среду). Для организации движения воздуха используются малонапорные вентиляторы тангенциального типа.

Солнечный коллектор-регенератор, как и обычный СК, ориентирован на юг, может устанавливаться вертикально, или под определенным углом наклона к горизонтальной поверхности для максимального приема солнечной энергии, с учетом характера системы: $\beta = \varphi$ для круглогодичных гелиосистем и $\beta = \varphi - 15^\circ$ для сезонных гелиосистем (период эксплуатации апрель – октябрь).

Разработан и создан экспериментальный стенд, обеспечивающий возможность изучения рабочих характеристик нового поколения солнечных коллекторов как в газовом, так и в газо-жидкостном вариантах. Стенд представляет собой раму с установленным газо-жидкостным коллектором с участками стабилизации воздушного потока на входе и выходе из СК/г-ж, систему подачи, распределения и сбора жидкости, гравитационно стекающей по поверхности теплоприёмника, бак, водяной насос и ротаметр для измерения расхода жидкости. Параметры воздушного потока фиксируются парами термометров (сухой и мокрый) и соответствующих термопар, установленных на участках стабилизации воздушного потока. Расход и скорость воздуха фиксируются термо-анемометром (testo 405-V1). Для фиксирования солнечной активности используется пиранометр.

ВЫВОДЫ:

1. Практическое использование испарительных методов охлаждения требует решения нескольких принципиальных вопросов: расширения климатической области использования методов испарительного охлаждения, повышения компактности и снижения энергопотребления систем; наиболее перспективно включение испарительных охладителей в состав осушительно-испарительных охладителей на основе открытого абсорбционного цикла.

2. Солнечная система с прямой (непосредственной) регенерацией абсорбента позволяет снизить энергозатраты, поскольку традиционный десорбер и солнечная система нагрева теплоносителя здесь заменяется солнечным регенератором абсорбента, что обеспечивает автономность системы и позволяет создать солнечную многофункциональную систему жизнеобеспечения.

3. Разработаны солнечные коллекторы-регенераторы СК/г-ж для ССКВ, обеспечивающие восстановление концентрации абсорбента и поддержание непрерывности цикла на основе солнечной энергии, обеспечивающей как необходимый подвод тепла, так и движение воздушного потока над поверхностью абсорбента, стекающего в виде жидкостной пленки по внутренней поверхности теплоприемника СК/г-ж.

СЕКЦИЯ № 5
ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ
керівник секції проф. Чепурненко В.П.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА
БЫСТРОЗАМОРОЖЕННОЙ ПРОДУКЦИИ
Петров А.К., Мегердичев Е.Я., Шишкина Н.С.
ГНУ ВНИИ консервной и овощесушильной промышленности РФ

Возрастающий год от года в странах мира и РФ потребительский спрос на быстрозамороженную растительную продукцию (свежезамороженные овощи, плоды, ягоды, полуфабрикаты из картофеля, овощей, готовые растительные и мясорастительные блюда) стимулирует развитие отечественного производства и необходимость импортзамещения.

ВНИИКОП разработаны эффективные отечественные технологии производства быстрозамороженной растительной продукции широкого ассортимента (свыше 150 наименований).

Установлены оптимизированные технологические параметры заготовок и хранения растительного сырья перед переработкой с применением высокоэффективных холодильных технологий в единой непрерывной цепи «поле - потребитель». Усовершенствованы параметры отдельных технологических операций и оборудования подготовки сырья (мойка, бланширование и др.). Для повышения уровня безопасности продукции разработан ряд антисептических методов обработки сырья, оборудования и помещений, что значительно сокращает микробиологическую обсемененность и повышает санитарно - гигиеническую безопасность готовой замороженной продукции.

Усовершенствована технология замораживания фруктов и овощей в целях сокращения продолжительности процесса замораживания на завершающем этапе подготовки сырья (после мойки, бланширования) путем введения эффективных режимов этапа предварительного охлаждения сырья перед низкотемпературным воздействием.

Для реализации режимов предварительного охлаждения подготовленного сырья перед шоковым замораживанием в РФ впервые создана и запущена в серийное производство установка для предварительного охлаждения и осушки сырья от поверхностной влаги (фирма ОАО «Гран» по исходным требованиям ВНИИКОП, ВНИХИ).

Для реализации усовершенствованной холодильной технологии в рамках Межгосударственной НТП Российской Федерации и Республики Беларусь был создан комплект оборудования для цехов подготовки овощей и овощных смесей к замораживанию (изготовитель - республика Беларусь) и холодильного оборудования (изготовитель - Российская Федерация).

На основе комплексных исследований ГНУ ВНИИКОП и ГНУ ВНИХИ разработана новая криогенная технология замораживания ягод и плодов с применением контактного внесения в массу сырья сухого льда, а также сухоледно - воздушная технология замораживания с использованием низкотемпературных стационарных камер или рефконтейнеров (температура минус 18°C) в комплексе с дополнительно размещенным в массе сырья хладагентом - гранулированным или измельченным сухим льдом.

Новый способ замораживания отличается обеспечением комплексного влияния низкотемпературной обработки и модифицированной газовой среды, создающейся в результате десублимации сухого льда. При этом сокращается период замораживания в 2-10 раз (за счет варьирования количества вносимого CO₂) и обеспечивается длительное (8-12 мес.) хранение замороженных ягод. Технология обеспечивает максимальное сохранение пищевой ценности, в т.ч. витаминов С и Р до 90-95% от исходного содержания, лучшее сохранение структуры растительных тканей в сравнении с воздушным замораживанием. Отмечено уменьшение на 8-27% сокоотдачи при дефростации замороженной продукции. Показатели органолептического качества сохраняются на 96-98%. Повышается уровень микробиологической безопасности, подавляется жизнедеятельность поверхностной микрофлоры на 90-98%.

Учитывая, что в настоящее время большая часть плодоовощной продукции производится в малых хозяйствах (у населения), существует большое разнообразие ассортимента сырья. Производители главной целью

ставят повышение урожайности, что не всегда совпадают с формированием показателей, требуемых для переработки (по форме, размеру, окраске и др.).

ВНИИКОП разработаны рекомендации по технологическим требованиям к сортам ягод, косточковых, семечковых плодов и различных овощей, предназначенных для производства охлажденной и быстрозамороженной продукции.

На основе проведенных работ с учетом международных требований разработан ГОСТ «Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия», а также первая редакция ГОСТ на быстрозамороженные овощи, что позволит повысить качество и безопасность замороженной продукции.

ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДІВ КАБАЧКІВ У ЗАМОРОЖЕНОМУ СТАНІ

Тарасенко В.Г.

Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь

При розробці та обґрунтуванні раціонального способу тривалого зберігання кабачків у замороженому вигляді суттєва частина питань виникає при дослідженнях ступеню збереження найбільш характерних для даного виду овочів показників та властивостей, як біохімічних так і мікробіологічних.

Метою дослідження є вивчення впливу заморожування і подальшого низькотемпературного зберігання на біохімічні і мікробіологічні показники плодів кабачків.

Експериментально встановлено, що в досліджуваних плодах кабачків відбулись зміни вмісту усіх біохімічних показників в процесі заморожування. Основні показники біохімічного складу досліджуваних сортів кабачків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники біохімічного складу досліджуваних сортів кабачків

Сорт	Сухі речовини, %	Цукри, %	Вітамін С, мг/100 г	Загальна кислотність, %	Вологовіддача, %
Грибовський					
-свіж.	6,20	2,78	10,90	0,24	-
-свіжозамор.	6,25	2,81	9,94	0,25	4,33
-3 міс. зберіг.	6,20	2,75	9,43	0,26	4,55
-6 міс. зберіг.	6,10	2,60	8,85	0,26	4,75
Скворушка					
-свіж.	5,76	2,41	9,13	0,26	-
-свіжозамор.	5,80	2,44	7,94	0,27	5,25
-3 міс. зберіг.	5,85	2,36	7,31	0,28	5,40
-6 міс. зберіг.	5,75	2,28	7,05	0,28	5,42
Золотінка					
-свіж.	5,18	2,90	11,97	0,19	-
-свіжозамор.	5,21	2,93	10,95	0,19	6,2
-3 міс. зберіг.	5,14	2,89	10,54	0,20	6,56
-6 міс. зберіг.	5,14	2,86	9,97	0,20	6,70

У процесі заморожування і зберігання впливу на динаміку вмісту сухих речовин не було виявлено. До кінця зберігання їхня кількість залишилася майже без змін у плодах кабачків всіх сортів.

У процесі заморожування спостерігалось незначне підвищення кількості цукрів. На думку вчених [1], це явище є результатом випаровування незначної кількості вологи та збільшення концентрації розчинів та інверсії цукрів.

Одним з показників, який активно змінюється у процесі заморожування, є вітамін С (аскорбінова кислота). Встановлено, що під дією низьких температур вона окислюється спочатку до дегідроаскорбінової кислоти, а потім до фізіологічно інертної форми 2,3 – дикетогулонової кислоти.

Як видно з таблиці 1, найбільші втрати вітаміну С відбулися підчас заморожування до температури зберігання. Ці втрати склали в середньому

близько 10%. На кінець терміну зберігання збереження аскорбінової кислоти було найвищим у сорті Золотінка – 83,3 %, сорті Грибовський – 81,20%, і найнижчим у сорті Скворушка (77,20%).

Загальна кислотність у свіжих плодах всіх сортів коливалася від 0,19% до 0,26% і за період зберігання підвищився в середньому на 6%.

Важливим показником якості кабачків при заморожуванні й зберіганні є вологовіддача, що визначається видовою властивістю і залежить від умов обробки, заморожування, зберігання [2]. Відомо, що вода рослинних тканин утримується під дією капілярних сил завдяки хімічним зв'язкам із протеїнами, полісахаридами, пектиновими сполуками. Зміни, що відбуваються у плодах кабачків на всіх етапах холодильної обробки, виявляються при дефростації та проявляються через показник вологовіддачі.

Як видно з таблиці 1, вологовіддача є показником, який доволі різко зростає на протязі всього терміну зберігання.

Так, через три місяці зберігання вологовіддача збільшилася відносно свіжозаморожених кабачків в середньому для всіх сортів на 4,6%, після шести місяців – на 7%.

Таким чином, аналіз проведених досліджень дозволив встановити, що заморожування, як і усякий інший спосіб тривалого зберігання, викликає зниження показників якості продукції, але споживча цінність заморожених кабачків залишається на досить високому рівні, мікробіологічні показники заморожених кабачків знаходяться в межах допустимих санітарних норм на заморожену плодоовочеву продукцію.

За результатами досліджень розроблено нормативно-технічну документацію, отримано деклараційний патент.

Література

1. Орлова Н.Я. Вплив різних способів розморожування швидкозамороженої плодоовочевої продукції на її органолептичні властивості та С-вітамінну цінність / Н.Я. Орлова, С.О. Белінська // Матеріали МНПК. – К.: КДТЕУ, 1999. – С. 160-164.
2. Воскобойников В.А. Определение водоудерживающей способности картофеля и моркови после их замораживания и дефростации / В.А. Вос-

АПРОБАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ЗАМОРОЖУВАННЯ ВИНОГРАДУ В ГРОНАХ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РЕЖИМІВ ЇЇ ЗАМОРОЖУВАННЯ

Ялпачик В.Ф.

Таврічний державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь

Для розрахунку характеристик процесів теплообміну при холодильній обробці грон винограду були проведені вимірювання геометричних розмірів ягід винограду сорту Молдова. Розрахунок середніх значень довжин обтікання ягід дав значення πR з $R \cong 0,01$ м, а оцінка середніх значень поверхні S та об'єму V ягід за формулами для еліпсоїду обертання дала значення коефіцієнту геометричної форми ягід $\Gamma=1,85$.

$$Nu_{\delta} = 0,5 \cdot Ra^{0,25} \quad (1)$$

де $Ra = Gr \cdot Pr = g \cdot \rho^2 \cdot C_p \cdot \zeta \cdot (T_S(\tau) - T_C(\tau))$ - число Релея.

Відповідно, g - прискорення вільного падіння, $\rho = \rho(T_C)/(1 + \zeta \cdot (T_S(\tau) - T_C(\tau)))$ відносна зміна густини повітря, C_p - ізобарна теплоємність повітря при температурі $T_S(\tau)$, ζ - температурний коефіцієнт об'ємного розширення повітря.

$$Nu = \pi + \left(\frac{Ra \cdot f(Pr)}{5} \right)^{1/4} \quad (2)$$

При цьому характерним розміром об'єкту охолодження також є довжина обтікання, а функція $f(Pr)$ від числа Прандтля визначається за формулою:

$$f(Pr) = \left[1 + \left(\frac{0,5}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{-16/9}$$
$$\frac{\Delta P}{L} = f \cdot \frac{\mu \cdot u \cdot (1 - \varepsilon)^2}{d^2 \cdot \varepsilon^2} \quad f = m + n \cdot \frac{Re}{1 - \varepsilon} \quad (3)$$

Коефіцієнт тепловіддачі при холодильній обробці в умовах холодильної камери з вільною конвекцією охолоджуючого повітря розраховувався в двох варіантах – за формулами (1) та (2) з урахуванням поправки (3) щодо впливу пористості пакування ягід в гроні чи в нерухомому шарі з грон винограду на конвекції швидкокоморозильного апарату. Порізність ягід в гроні складала значення 0,31, що дещо менше для щільного пакування сфер аналогічних радіусів.

На рис. 1 наведено зіставлення результатів розрахунків з експериментальними даними для температурних змін в псевдоцентрах ягід винограду, що знаходились всередині грони. Розрахункова крива за № 1 тут відповідає розрахунку з використанням формули (2), а крива № 2 відповідно (1). Таким чином, тут можна зробити висновок щодо кращого узгодження розрахункових та експериментальних даних при використанні (2) для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі за умов вільної конвекції охолоджуючого повітря у вільному просторі нерухомого шару грон винограду.

Найбільші відхилення розрахункових та експериментальних даних для значень температури псевдоцентру ягід становлять 1,2 °С, що свідчить про задовільний їх збіг, враховуючи рівні похибок як розрахунків, так і вимірювань, особливо в визначенні координати „псевдоцентру“, реального положення термопари в ягоді.

Аналогічні результати одержані нами і при зіставленні експериментальних та розрахункових даних для температур псевдоцентру ягід, що знаходились на поверхні грона з боку набігаючого потоку охолоджуючого повітря. Тут температури охолоджуючого повітря дещо менші за очевидних причин, процес заморожування протікає за менший проміжок часу. Результати представлені на рис. 2 і також свідчать про більшу „працездатність“ (1).

Слід також звернути увагу на різницю температур псевдоцентрів ягід всередині грона та на його поверхні – вона при тривалості процесу заморожування близько двох годин з похибкою в декілька хвилин становить біля двох-трьох десятих градуса на рівні мінус 25 °С. Це означає, що вирівнювання температур ягід при їх надходженні в камеру зберігання (– 25 °С) не буде супроводжуватись суттєвим таненням „більш замороже-

них“ ягід і відповідними втратами компонент харчової цінності винограду.

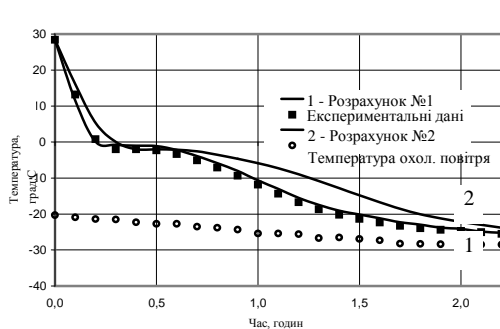


Рис. 1. Порівняння розрахункових та експериментальних даних зі змін в часі температури псевдоцентру ягоди винограду всередині грона

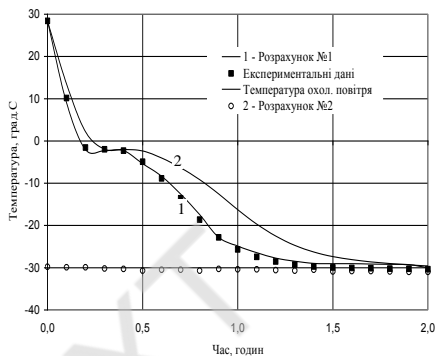


Рис. 2. Порівняння розрахункових та експериментальних даних зі змін в часі температури псевдоцентру ягоди винограду на поверхні грона

Досягнене задовільне узгодження розрахункових та експериментальних даних також є позитивною апробацією розрахункових співвідношень та одержаних результатів з теплофізичних властивостей ягід винограду сорту Молдова, одержаних нами вище.

ЗАМОРОЖУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДО-ОВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ В ЗАМОРОЖЕНОМУ СТАНІ З ПРОГНОЗОВАНОЮ ЯКІСТЮ

Ялпачик В.Ф.

Таврічний державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь

Забезпечення необхідного рівня продовольчої безпеки держави вимагає не тільки розвитку агрокультури основних сільськогосподарських культур, підвищення їх урожайності та екологічної чистоти, але і розвит-

ку постурожайних технологій, технічних засобів та підприємств для довготривалого зберігання харчової сировини і продуктів, як з малими втратами маси, так і з мінімальними втратами показників їх харчової цінності.

Крім класичних технологій консервування плодоовочевої продукції з використанням підвищених температур (мінімальних при використанні процесів пастеризації в розчинах), сьогодні використовуються в світі по суті дві більш – менш ефективні (з позицій максимально можливого збереження показників харчової цінності) технології. Одна з них – зберігання охолодженої свіжої плодоовочевої сировини в регульованому (РГС) або модифікованому (МГС) газовому середовищі. Друга, альтернативна першій, технологія зберігання в замороженому стані протягом року і більше для своєї реалізації потребує суттєво менших енерговитрат при відносно такому ж чи більш високому рівні збереження харчової якості сировини та витрат енергії (збереження вітамінів С, групи вітамінів В, β-каротину, пектинових речовини, клітковини, мінеральних речовин, зменшення на 20 - 25% виробничих площ, зниження споживання електроенергії приблизно на 50%, більш дешеві тара та пакувальні матеріали тощо). Але останнє твердження не має загального чи абстрактного сенсу, бо серед плодоовочевої сировини є сортові відмінності, такі, що деякі сорти зовсім не підлягають заморожуванню, або в процесі зберігання в них протікають біохімічні реакції та фізико - механічні перетворення, що приводять до суттєвого зниження показників якості. В цьому плані актуальною тематикою досліджень виступають біохімічні аналізи складу плодоовочевої сировини на різних етапах її холодильної обробки і зберігання в замороженому стані, змін в часі фізико - хімічних та фізико – механічних характеристик замороженої сировини. При цьому інтерес представляють дослідження окремих високоурожайних, високої харчової цінності, регіональних українських сортів плодів та овочів.

З іншого боку, розвиток агропромислового сектору України не може здійснюватись без вирішення задач енергозбереження – мінімізації питомих енерговитрат на заморожування, зберігання в замороженому стані та розморожування різних видів плодоовочевої сировини. Тут звертає на себе увагу недосконалість існуючих холодильних технологій обробки

плодоовочевої сировини, які не тільки не враховують відмінності видів та сортів в значеннях режимних параметрів процесів заморожування, тривалості цих процесів, а й не надають даних щодо кінцевої середньомасової температури, теплових навантажень на охолоджуюче обладнання, методів вибору (проектування) елементів охолоджуючих систем, що здатні реалізувати енерго- та ресурсощадну технологію заморожування конкретного виду і урожаю плодоовочевої сировини. Особливо це відноситься до використання сучасних конвеєризаних швидкоморозильних апаратів для заморожування плодів та овочів як окремих тіл, чи у густому шарі, чи у псевдозрідженому стані. Бракує тут і наявності науково обґрунтованих методик як технологічного, так і проектного призначення – тривалість процесів заморожування в літературних джерелах рекомендується визначати за явно неефективними модифікаціями формули Планка, а щодо динаміки змін температурних полів, середньомасових температур, теплових навантажень в процесах заморожування інформація часто відсутня. В той же час плодоовочева сировина урожаю різних років і навіть з різних полів відрізняється і за вологовмістом, і за якісними показниками, і за геометричними характеристиками, що суттєво впливає на режимні параметри процесів заморожування і значення питомих енерговитрат.

Окреслену вище проблему характеризує сьогодні і низький рівень споживання свіжозамороженої продукції на душу населення (біля 0,2 кг у рік проти 10 - 50 кг в розвинених країнах світу), кризовий спад в галузі низькотемпературного заморожування плодів і овочів у попереднє десятиріччя та прояв в останні роки тенденції до її відродження за рахунок малих і середніх підприємств. Наплив із країн Європи до України свіжозаморожених продуктів харчування, реалізованих за досить високими цінами, показує, що підвищений попит на ці продукти у нас є практично протягом всього року.

Автором за останні роки виконано комплекс досліджень, основною метою яких є розвиток наукових основ, необхідних для вирішення важливої народно-господарчої проблеми - розробки технологічних процесів, їх математичних моделей, енерго- ресурсозберігаючих режимів заморожування та тривалого зберігання в замороженому стані баклажан,

кабачків, солодкого перцю, кукурудзи молочно-воскової стиглості, гарбуза і винограду, обґрунтування змін показників їх харчової цінності в цих процесах.

Основні наукові результати, одержані в проведених дослідженнях такі:

1. Встановлено, на базі аналізу експериментальних даних різних авторів, що криві температурних залежностей частки вимороженої води в різних видах плодовоовочевої сировини еківідстантно зміщуються зі зміною їх значень температур початку кристалізації води $T_{кр}$, але тільки для видів сировини з достатньо високим вмістом відносно слабо зв'язаної води, тобто для $T_{кр} \geq -2.0$ °С. На цій основі розроблено інтерполяційну за значеннями $T_{кр}$ методику розрахунку частки вимороженої води та вперше розраховано теплофізичні властивості баклажан, кабачків, солодкого перцю, зерен кукурудзи молочно-воскової стиглості, гарбуза і винограду сорту Молдова в діапазоні температур від мінус 40 °С до 40 °С з похибкою, що не перевищує похибки нечисленних експериментальних даних.

2. Створено, а в окремих випадках удосконалено з урахуванням специфіки об'єктів дослідження, прилади та стенди для вимірювань значень коефіцієнтів тертя спокою та тертя руху, величин деформації плодів та овочів в залежності від зусилля деформації, в тому числі і гранично допустимого, і значень зусиль проколювання плодів, адгезійних характеристик, змін мікроструктури плодовоовочевої сировини, значень гідростатичного тиску в плодовоовочевій сировині, камеру для заморожування і дефростації плодовоовочевої сировини під тиском. Розроблено відповідні методики вимірювань та обробки одержаних результатів.

3. Одержано шляхом експериментальних вимірювань характерні криві $T(x)$ -т значень температури $T(x)$ в координаті x для різних моментів часу τ в процесах заморожування об'єктів плодовоовочевої сировини в рідкому азоті, насиченій парі азоту, розсолі NaCl, в охолоджуючому повітрі вибраних зразків баклажану, кубиків гарбуза, кружочків кабачка, грон винограду Молдова, солодкого перцю, зерен та качанів молочно-воскової стиглості.

4. Експериментально одержано, що зразки цілих плодів і овочів, розморожених у воді, а особливо у воді під тиском, мають суттєво кращий

зовнішній вигляд, близький до свіжих плодів та овочів, ніж у зразків, розморожених у повітрі. Аналіз гістологічних зрізів свіжих, заморожених та дефростованих плодів та овочів виявив менший рівень мікроструктурних змін при розморожуванні у воді під тиском.

5. Експериментально та з використанням кореляційного і регресійного аналізу одержаних експериментальних даних встановлено закономірності між зусиллями на досліджені плоди та овочі і величиною відповідної їх деформації (в свіжому стані, зразу після заморожування, в процесі зберігання, після дефростації) та часом зберігання в замороженому стані, між зусиллям на прокол плодів та овочів та часом зберігання в динаміці зберігання в замороженому стані та після дефростації. Встановлено, що показники зусилля деформації і зусилля на прокол знаходяться в прямій залежності від вмісту в плодах сухих речовин і в зворотній залежності від вологовіддачі плодів та овочів при їх дефростації.

6. Одержано експериментально дані для адгезійних властивостей кубиків гарбуза і кружків кабачка, показано, що при температурах мінус 5 °С і нижчих злипання між собою шматочків гарбуза і кабачків припиняється за рахунок утворення стабільної крижаної кірки, яка перешкоджає злипанню фрагментів.

7. Для всіх досліджених в даній роботі видів плодоовочевої сировини одержано експериментальні дані щодо залежностей коефіцієнтів тертя спокою, тертя руху в залежності від ваги об'єктів та швидкості руху поверхні (дерево, сталь, гума), на якій вони знаходяться (стосовно конвеєрної стрічки в швидкоморозильних апаратах).

8. Одержано експериментальні дані щодо змін показників харчової цінності в динаміці довготривалого зберігання в замороженому стані, виділено сорти плодоовочевої сировини, де ці зміни мінімальні - вітаміну С та цукру (сорти перцю солодкого, гарбуза, кабачків, винограду Молдова), пектину (сорти гарбуза), каротиноїдів (сорти гарбуза), вітамінів С і Е (сорти гарбуза), титрованих кислот (кабачки). Розроблено методику розрахунку узагальненого показника якості замороженої плодоовочевої сировини в кінці її довготривалого зберігання з урахуванням органолептичних оцінок. Тільки за технологічними оцінками якості сировини в

кінці процесу зберігання показано, що більше переваг має спосіб заморожування при підвищеному тиску.

9. Одержано, що розвиток популяції мікрофлори на заморожених кубиках гарбуза при їх довготривалому зберіганні пригнічується суттєво сильніше, ніж при зберіганні гарбуза за традиційною технологією (у повітрі, при знижених додатних температурах).

10. Розроблено єдину для всіх видів плодоовочевої сировини нелінійну інтерполяційну математичну модель і реалізуючий її комп'ютерний алгоритм для процесу охолодження і заморожування, яка дозволяє розраховувати зміни температурних полів та теплових потоків з поверхні об'єктів холодильної обробки в часі, одержано задовільні результати її апробації шляхом порівняння розрахункових та великого об'єму експериментальних даних, отриманих в даній роботі. Розходження між розрахованими та експериментальними значеннями температур в характерних точках об'єктів заморожування не перевищує похибки експериментальних даних ($\pm 1-2^{\circ}\text{C}$). Інтерполяційний коефіцієнт - коефіцієнт геометричної форми плодів та овочів становить (1.85 ± 0.05) для ягід винограду сорту Молдова, для плодів перцю солодкого, для кубиків нарізаного гарбуза, (1.2 ± 0.05) для баклажанів, (0.9 ± 0.05) для нарізаних кружків кабачка, (1.5 ± 0.05) для зерна кукурудзи молочно-воскової спілості.

11. Показано, що в процесах заморожування плодоовочевої сировини питомі значення теплових потоків з поверхні об'єктів змінюються в дуже широких діапазонах. Наприклад, навіть при слабо інтенсивному процесі ($T_c = -30^{\circ}\text{C}$, $V_c = 1-2$ м/с) заморожування грон винограду чи перцю солодкого вони зменшуються від значень в декілька тисяч $\text{Вт}/\text{м}^2$ до $10-50$ $\text{Вт}/\text{м}^2$. Це означає, що дотримання наперед заданих і ефективних режимів в холодильних камерах циклічного завантаження усередненої холодопродуктивності принципово неможливе - стабілізація теплових навантажень на повітроохолоджувачі досягається в конвеєризаних тунелях чи швидкоморозильних апаратах. Тому заморожування плодоовочевої сировини з реальними ефектами енерго- та ресурсозбереження доцільно проводити в конвеєризаних тунелях чи швидкоморозильних апаратах.

12. Розроблено на базі використання математичної моделі процесів заморожування методику оцінки їх необхідної тривалості та холодопродуктивності конвеєризованої охолоджуючої системи для здійснення вибраного режиму процесу заморожування, відповідного вибору швидкоморозильного апарату чи характеристик тунелю, або навпаки, розрахунку експлуатаційних характеристик апаратів чи тунелів, якщо такі уже наперед задані.

Розроблена також методика техніко – економічного обґрунтування доцільності здійснення в промислових об'ємах процесів заморожування та наступного зберігання в замороженому стані різних видів плодоовочевої сировини (з урахуванням узагальненого показника якості, фізико-механічних характеристик), розроблена розрахункова методика для оцінки собівартості такої сировини в залежності від об'ємів та термінів зберігання. Одержані результати дають позитивну відповідь щодо широких перспектив впровадження і розвитку цієї галузі агропромислового комплексу в Україні.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ И БЫСТРОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ЗЕЛЕННЫХ ОВОЩЕЙ

Шишкина К.С., Карастоянова О.В., Борченкова Л.А.

ГНУ ВНИИ консервной и овощесушильной промышленности РФ

Сложные экологические условия во многих странах мира повышают значимость сохранения иммунитета к стрессовым условиям (высокие температуры среды и др.)- Важную роль при этом играет потребление нативных витаминов.

К числу продуктов, характеризующихся высоким содержанием витаминов С, К, В₁ В₂, В₁₂, фолиевой кислоты (В₉), биологически активных и минеральных веществ, относятся зеленные овощи (шпинат, петрушка, сельдерей, укроп, лук зеленый, салат и др.), потребление которых непрерывно растет в разных странах мира.

Однако зеленные овощи имеют низкий уровень сохраняемости даже в условиях охлаждения, поэтому актуальны работы по увеличению продолжительности их хранения.

ВНИИКОП разработана технология по широкому использованию холодильного воздействия на всех этапах движения сельскохозяйственного сырья в составе непрерывной холодильной цепи «поле-потребитель» (НХЦ). Важной особенностью разработанных технологий является: - введение в технологию первого этапа НХЦ предварительного охлаждения растительного сырья в местах сбора или отгрузки рефтранспортом; - регламентирование режимов охлаждения и последующих звеньев НХЦ с учетом видовых особенностей, условий производства и сбора и требуемой продолжительности транспортирования или хранения; - комплексное воздействие режимов охлаждения и модифицированной газовой среды.

Установлена конечная температура предварительного охлаждения 5°C. Это позволяет сократить интенсивность дыхания зеленных овощей в 3-5 раз, снизить потери при транспортировке и хранении в 2-3 раза, увеличить выход стандартной продукции на 15-25%. В период заготовок в 2-3 раза сокращается естественная убыль массы.

Для обеспечения хранения зелени в условиях модифицированной газовой среды рекомендовано использование полимерных упаковок в сочетании с предварительным охлаждением сырья, что обеспечивает продление сроков хранения до 15-30 суток.

Наиболее продолжительное сохранение свежей зелени обеспечивается при 0-2°C в газовой среде с повышенным содержанием CO_2 (4-6 %) и пониженным содержанием O_2 (7-10%).

ВНИИСС совместно с ВНИИКОП разработаны упаковки из полиэтилена с отечественными газоселективными мембранами, реализующими экологически безопасный способ создания МГС.

Применение указанной технологии обеспечивает продление сроков хранения зелени до 60-90 суток и сохранение высоких товарных качеств зелени (свежесть, специфическая окраска).

Исследования показали, что для успешного предреализационного хранения зелени в полимерных упаковках необходимо удаление поверхностной влаги и предварительное охлаждение зелени для замедления метаболических процессов.

Установлено, что при хранении в полимерных упаковках зелени эффективно использование сорбентов влаги и выделяемого этилена - сти-

мулятора процессов старения. Для реализации указанного направления ВНИИКОП и ООО «Прицера» разработан сорбент на основе природных цеолитов.

Для более длительного сохранения зеленных овощей разработана технология быстрого замораживания их в виде полуфабрикатов со сроками хранения 8-12 месяцев.

Ассортимент замороженной продукции включал резаную зелень и пюреобразные полуфабрикаты в виде монокультуры или смеси овощей.

Технологическая схема включает: инспекцию, мойку, резку, измельчение, порционную упаковку в полимерную тару. Фасовка может варьироваться от мелких порций до крупной упаковки в полиэтиленовые мешки для системы общественного питания (столовые, рестораны, кафе). Далее производится шоковая заморозка при -35°C .

Установлено сохранение высокого органолептического качества быстрозамороженных зеленных овощей.

На основе пюреобразного полуфабриката зелени разработан новый быстрозамороженный продукт в виде бульонных кубиков. В качестве бульонного компонента использовали подготовленные крупы (геркулес, рис), а также специи, морковь, лук, соль, масло.

Гарантийный срок хранения замороженной продукции до 12 месяцев. Продукция характеризуется высокими органолептическими качествами и микробиологической безопасностью. Новые полуфабрикаты могут рассматриваться в качестве биопродукта, позволяющего повысить пищевую ценность рационов питания.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДМОРОЖУВАННЯ ІХОЛОДИЛЬНОГО ЗБЕРІГАННЯ КІЛЬКИ ЧОРНОМОРСЬКОЇ

Бабков М.І., Горикін С.Ф., Козонова Ю.О.

ОНАХТ, м. Одеса

Важливим резервом сировинної бази рибної промисловості України є дрібні азово-чорноморські риби (кілька, хамса, тюлька). Особливістю дрібних азово-чорноморських риб є висока активність комплексу

протеолітичних ферментів. Тому під час промислової переробки цих риб і під час реалізації у вигляді охолодженої столової риби виникають технологічні складності у попередньому зберіганні сировини. У холодильній технології існує технологічний прийом, який дозволяє продовжити термін зберігання сировини тваринного походження до кількох тижнів — це глибоке охолодження або підморожування. В Україні передбачено підморожувати та зберігати підморожену рибу при температурах мінус 2...мінус 3 °С, а в усьому світі спостерігається тенденція до зниження цього температурного діапазону до мінус 3...мінус 5 °С. Переоснащення існуючих суден з холодильними машинами на підморожування риби буде коштувати дешевше, ніж на її заморожування. Тому вивчення підморожування дрібних азово-чорноморських риб є одною з актуальних проблем рибної промисловості України.

Об'єктом дослідження була кілька чорноморська. У процесі холодильної обробки зразків фіксувалась температура на поверхні та в центрі блоку через кожні 5 хвилин. Температура 0,5 °С у охолоджених зразках була досягнута через 50 хвилин. Температура мінус 3 °С у центрі блоку підморожених зразків була досягнута через 35 хвилин, при цьому температура на поверхні блоку досягла мінус 6 °С. По закінченні холодильної обробки охолоджені зразки зберігались при температурі від плюс 4 до плюс 5 °С, а підморожені — при температурі мінус 3 плюс мінус 0,5 °С. У процесі холодильного зберігання через кожні 4 доби проводились визначення комплексу якісних показників.

За показники, характеризуючі якісні зміни білків м'язової тканини зразків кільки чорноморської, що досліджувались, були вибрані азот летких основ (АЛО), як критерій ступеня ферментативних процесів, та вологуотримуюча здатність (ВУЗ), як критерій фізико-хімічних змін білків.

Показано, що у охолоджених зразків інтенсивність накопичення АЛО вища, ніж у підморожених. У охолоджених зразків граничне значення АЛО для морської риби, яке складає 50 мг %, було досягнуте через 16 діб холодильного зберігання, а у підморожених зразків цей рівень АЛО був досягнутий через 35 діб холодильного зберігання.

ВУЗ м'язової тканини свіжозловлених зразків була високою і досягала 88 %. В охолоджених зразках ВУЗ знижувалась рівномірно у процесі

холодильного зберігання. У підморожених зразках спостерігалось значне зниження ВУЗ до кінця першого тижня холодильного зберігання, котре досягало 66 %. Потім ВУЗ підморожених зразків збільшилось до 70 %, однак після трьох тижнів холодильного зберігання зафіксоване його зниження, котре через 36 діб досягло значення 51 %.

За показники, які характеризують стан ліпідів, були вибрані кислотне число (КЧ), як критерій якісного стану ліпідів, а саме ступінь їх гідролізу, і перекисне число (ПЧ), як критерій ступеня окиснювального псування жиру.

У свіжовилонених зразків КЧ мінімальне і складає 3,5 мг КОН на 1 г продукту. На початку холодильного зберігання охолоджених і підморожених зразків зафіксоване зростання КЧ. Максимальне значення КЧ для охолоджених зразків досягнуте після першого тижня холодильного зберігання і складало 14 мг КОН на 1 г продукту. Максимальне значення КЧ для підморожених зразків було досягнуте після другого тижня холодильного зберігання і склало 12 мг КОН на 1 г продукту. Значення ПЧ у свіжовилонених зразків практично дорівнює нулю. У охолоджених зразків максимальне значення ПЧ досягнуте через 12 діб холодильного зберігання і складало 14 г йоду на 100 г продукту. У підморожених зразків пік значень ПЧ, який складав 12 г йоду на 100 г продукту, зафіксований через 4 тижні холодильного зберігання.

М'язова тканина свіжовилоненої риби практично стерильна. Основна маса мікроорганізмів зосереджена у слизові на поверхні риби та у шлунково-кишковому тракті. У процесі холодильного зберігання охолоджених зразків кількість мікроорганізмів рівномірно збільшувалась і до 16 доби зберігання досягала 60000 КОЕ на 1 грам. Максимальне значення мікробіологічної обсеменності (5×10^4 КОЕ/г) в охолоджених зразках зафіксовано через 15 діб холодильного зберігання, а у підморожених зразках — через 27 діб. Проведені дослідження показали, що свіжовилонена кілька чорноморська може зберігатися у підмороженому стані на протязі чотирьох тижнів при умові дотримання технологічних режимів холодильної обробки.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ІНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОХОЛОДЖЕННЯ, ЗАМОРОЖУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ М'ЯСА НА ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКАХ

Онiщенко В.П.¹, Желiба Ю.О.¹, Харченко С.В.¹, Попов В.І.²,

Окольнича Г.В.²

¹Одесская державна академія холоду

²Національна асоціація виробників м'яса та м'ясопродуктів України
«Укрм'ясо»

За замовленням Міністерства аграрної політики та продовольства України авторами розроблено збірник технологічних інструкцій з холодильної обробки різних видів, категорій та кондицій м'яса як доповнення до нових ДСТУ та ще діючих в Україні ГОСТів в м'ясопереробній галузі. На відміну від старих (1981 р.) нові інструкції відрізняє акцент на задачі енергозбереження (мінімізації енерговитрат на холодильну обробку) та ресурсозбереження (мінімізації втрат маси від усушки, мікробактеріального псування та втрат значень показників харчової цінності).

Збірник починається з визначень ряду понять, сенс яких є суттєвим при проведенні процесів охолодження, заморожування, зберігання, розморожування м'яса: температурні залежності теплофізичних властивостей сировини, геометрія об'єктів холодильної обробки, температура початку кристалізації води при заморожуванні, відповідність цих величин і категорій м'яса; попереднє (шокове) охолодження м'яса в півтушах, процес приморожування м'яса в півтушах, сенс та призначення яких часто остається невідомим як технологам, так і проектувальникам; середньомасова температура об'єкту заморожування як основа для визначення тривалості процесу холодильної обробки, методи її експериментального визначення та розрахунку; паспортна температура повітря в камерах чи тунелях холодильної обробки, причини її частоті невизначенності та виникаючих помилках при контролі процесів холодильної обробки.

При розробці технологічних інструкцій автори використовували як достатньо багатий експериментальний матеріал, дані та досвід підготовки таких інструкцій у попередні роки, так і результати розрахунків за розробленими математичними моделями в рамках нелінійних крайових задач

теплопровідності, що також були апробовані у попередні роки на об'ємному масиві експериментальних даних. Загалом розроблено такі технологічні інструкції :

- Підготовка холодильника та його обладнання перед холодильною обробкою та зберіганням м'яса і м'ясопродуктів
- Технологічна інструкція з охолодження м'яса, ТІ ДСТУ 6030:2008, ТІ ДСТУ 7158:2010, ТІ ДСТУ 3938-99, ТІ ГОСТ 27095-86
- Технологічна інструкція з попереднього охолодження м'яса, ТІ ДСТУ 6030:2008, ТІ ДСТУ 7158:2010, ТІ ДСТУ 3938-99, ТІ ГОСТ 27095-86...
- Технологічна інструкція з приморожування м'яса, ТІ ДСТУ 6030:2008, ТІ ДСТУ 7158:2010, ТІ ДСТУ 3938-99, ТІ ГОСТ 27095-86
- Технологічна інструкція із заморожування м'яса, ТІ ДСТУ 6030:2008, ТІ ДСТУ 7158:2010, ТІ ДСТУ 3938-99, ТІ ГОСТ 27095-86
- Технологічна інструкція із зберігання м'яса, ТІ ДСТУ 6030:2008, ТІ ДСТУ 7158:2010, ТІ ДСТУ 3938-99, ТІ ГОСТ 27095-86
- Технологічна інструкція із розморожування м'яса в тушах, півтушах, четвертинах ТІ ДСТУ 6030:2008, ТІ ДСТУ 7158:2010, ТІ ДСТУ 3938-99, ТІ ГОСТ 27095-86
- Технологічна інструкція з охолодження, заморожування та зберігання субпродуктів, ТІ ТУ У 46.38.066-2000
- Технологічна інструкція з заморожування, зберігання та розморожування блоків із м'яса і субпродуктів, ТІ ГСТУ 46.019-2002.
- Технологічна інструкція з холодильної обробки та зберігання жиру-сирцю ТІ ТУ У 61.1094-2001, ТІ ДСТУ 4424:2005
- Технологічна інструкція з холодильної обробки та зберігання жиру топленого харчового, ТІ ГОСТ 25292-82
- Технологічна інструкція з холодильної обробки та зберігання сала і свинячої грудинки, ТІ ТУ У 46.38.029-095, ТІ ДСТУ 4424:2005
- Технологічна інструкція із заморожування та зберігання пельменів і фрикадельок, ТІ ДСТУ 4437:2005, ТІ ДСТУ 1558-91, ТІ ДСТУ 6028:2008
- Холодильне транспортування м'яса та м'ясопродуктів, ТІ ДСТУ 6030:2008, ТІ ДСТУ 7158:2010, ТІ ДСТУ 4437:2005, ТІ ДСТУ 1558-91, ТІ ГСТУ 46.019-2002, ТІ ГОСТ 27095-86

Числові дані в інструкціях, зокрема для тривалості процесів охолодження, заморожування, наведені диференційовано як по категоріям м'ясної сировини, так і за масами півтуш (в діапазонах від 30 до 60 кг для свинини, від 60 до 160 кг для яловичини), за різними значеннями кінцевих середньомасових температур, в різних режимах холодильної обробки, включаючи ті, що ще реалізуються холодильними системами на холодильниках давньої побудови.

В доповіді також обговорюються відмінності діючих та розроблених інструкцій, наявні протиріччя в уже розроблених нових нормативних документах.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕСПИРАЦИИ И ТРАНСПИРАЦИИ В НАСЫПИ ЗЕРНА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Онищенко В.П.¹, Титлов А.С.², Голиков А.А.¹, Гришкорин А.Г.¹

¹Одесская национальная морская академия

²Одесская национальная академия пищевых технологий

Експериментальні результати по довготривалому зберіганню підсушеного зерна в великих пластикових мешках (silobag) без його попередньої фумігації, обробки рентгеновським випромінюванням і т.п. обумовлюють актуальність досліджень по моделюванню процесів дихання в насипі зерна (інтенсивність виділення теплоти дихання, динаміка змін складу утворюючої модифікованої газової середовища (МГС), випаровування і конденсація вологи в МГС). Зниження інтенсивності дихання за рахунок формування МГС з відносно низькою концентрацією O_2 , більш високою концентрацією CO_2 , охолодження і сушіння нагріваючого зерна до нульових температур з запобіганням конденсації вологи складають основні аспекти нових технологій зберігання зерна. Відповідні процеси характеризуються індивідуальними (якісно і кількісно) особливостями як для різних видів зерна, так по їх сортам. Отримання наукових даних в цій області дуже актуально для агропромислового комплексу України, регіональних видів і сортів вирощуваного врожаю зернових, оскільки Ук-

раина и сегодня являясь одним из крупнейших мировых экспортеров зерна. Имеют такие исследования актуальность и для разработки новых технологий транспорта зерна морскими и речными судами, если акцентировать здесь внимание на минимизации потерь массы и качества зерна на протяжении рейса, в процессах его перегрузки в портах.

Моделирование процессов дыхания (респирации и транспирации) достаточно эффективно проводится в ряде работ авторов и других исследователей при использовании гипотезы об изобарно – изоэнтальпийном процессе испарения воды с поверхности объектов пищевого сырья и гипотезы о фермент-субстратном комплексе, протекание ферментативных реакций в котором обуславливает структуру уравнений по интенсивности поглощения O_2 , выделения CO_2 и теплоты дыхания. Соответствующие физическая и математическая модели успешно апробированы на примере процессов формирования усушки мяса различных видов и категорий, формирования МГС и потерь массы при хранении некоторых видов плодовоовощного сырья. Однако, указанные виды пищевого сырья характеризуются высоким начальным влагосодержанием (от 60 до 85 %), что обуславливает большую долю свободной и почти свободной воды (теплота ее испарения равна теплоте фазового перехода вода-пар ординарной воды). Только при вымораживании воды из сырья (в процессах его замораживания до температур минус 30 °С и ниже) проявляется энергия связи воды с «сухой» частью сырья, ее зависимость от влагосодержания жидкой фазы при различных температурах. В итоге, при низких температурах (соответственного низких концентрациях жидкой фазы воды) минимальная энергия для испарения (отрыва молекул H_2O от «скелета») равна сумме теплоты испарения ординарной воды и энергии ее связи со «скелетом», зависящей от температуры и содержания жидкой фазы. Именно зерно при его начальном влагосодержании 12-24 % обнаруживает весьма существенную зависимость интенсивности дыхания от температуры и влагосодержания, в отличие от приведенных выше видов пищевого сырья. Построение математической модели для интенсивности выделения теплоты дыхания на основе приведенных физических и математических гипотез явилось основной задачей данной работы.

Результатом работы также является пакет расчетных процедур, реализующий прогнозирование изменений во времени состава МГС в некотором ограниченном (свободном) объеме с зерном заданной массы, оценку интенсивности дыхания в зависимости от температуры, состава МГС и влагосодержания зерна, в том числе и при нахождении зерна на открытом воздухе (газовая среда постоянного состава). Конкретные апробационные расчеты проведены для зерна отдельных сортов пшеницы и кукурудзы (маиса), показали удовлетворительное согласие с экспериментальными данными по теплоте дыхания при комнатных температурах. В докладе также кратко обсуждаются идеи дальнейших исследований в направлении достижения практических целей.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІЗНИХ СПОСОБІВ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ПОКАЗНИК рН М'ЯСА

Савінок О.М.¹, Рибак В.В.¹, Ацо Кузелов²

¹ ОНАХТ, м. Одеса

² Університет Гоце Делчев, р. Македонія, м. Штип

В останні роки дуже популярне «шокове охолодження», яке передбачає обробку на першому етапі при мінусових температурах, яке використовується, як правило, для обробки свинини. Рекомендуються до використання температури від мінус 4 до мінус 22 °С. Авторів подібних розробок, в першу чергу, цікавить можливість скоротити втрати при охолодженні та дозріванні. А данні про характер змін функціональних властивостей м'яса яловичини, охолодженого цим способом, під час подальшого дозрівання практично відсутні. Основною метою даних досліджень є вивчення кінетики змін температури та показника рН м'яса яловичини породи симентал в різних анатомічних частинах туші при використанні шокового охолодження. Для об'єктивної оцінки процесів, які відбуваються в сировині під час охолодження, ліві половини туш яловичини обробляли за режимами регламентованими документацією підприємства, праві – за режимами «шокового охолодження».

Режими охолодження за схемою підприємства: а) початкове – при температурі 4 °С; швидкості руху повітря – 0,5...1,0 м/с; відносній вологості повітря – 90 %; упродовж 16 годин до температури в центрі тазостегнової частини 10,5...11,5 °С; б) доохолодження та дозрівання – при температурі – 1...2 °С; швидкості руху повітря – 0,5... 1,0 м/с; відносній вологості повітря – 90 %; до температури в центрі тазостегнової частини не більше – 4 °С.

Використані режими «шокового охолодження»: а) початкове – при температурі 6...8 °С; швидкості руху повітря – 0,5...1,0 м/с; відносній вологості повітря – 90 %; упродовж 1,5 години до температури в центрі тазостегнової частини 38,0...39,0 °С; б) низькотемпературне – при температурі мінус 23 °С; швидкості руху повітря – 0,5...1,0 м/с; відносній вологості повітря – 23 %; упродовж 2,5 годин до температури в центрі передніх та задніх кінцівок – 1,1...1,5 °С, в центрі тазостегнової частини – 28,0...28,4 °С; в) доохолодження та дозрівання — при температурі мінус 1... плюс 2 °С; швидкості руху повітря – 0,5...1,0 м/с; відносній вологості повітря – 90 %; до температури в центрі тазостегнової частини не більше 4 °С.

Загальна тривалість дозрівання склала 5 діб.

Для оцінки кінетики змін температури та функціональних показників м'яса при дозріванні здійснювався відбір зразків сировини безпосередньо з туш з певною періодичністю. Для інтенсивного зниження температури м'яса в напівтушах використовували низькотемпературне охолодження з примусовою циркуляцією повітря при температурі мінус 23... мінус 22 °С на першому етапі та 0...2 °С для другого. Для того щоб виключити холодову контрактацію, туші розміщували в камері з мінусовою температурою через 2,5 години після забою. Попередньо туші витримували 1,5 години при температурі 6...8 °С для часткового розпаду деякої частини АТФ. Вірогідність появи холодового скорочення знижується і його інтенсивність менш проявляється, коли в м'язах вже почався процес посмертного заляккання. При цьому спостерігається незначне зниження рН.

Щодо температури, то її значення зменшуються неоднаково для різних анатомічних частин туші. Незалежно від способу охолодження, найшвидше зменшується значення показника в м'ясі передніх кінцівок, при цьому, температура 1,4...2,0 °C досягається при «шоковому» охолодженні вже через 5 годин після забою, при традиційному – через 24-26 годин. Нормована температура в l. dorsі досягається через 6,5-7 годин у м'яса шокowego охолодження і через 16-17 годин у м'яса «шокowego» охолодження і через 16-17 годин у м'яса регламентованого охолодження.

Повне охолодження туш, тобто досягнення температури в центрі тазового стегна 0...4 °C зафіксоване для «шокowego» охолодження – через 22-23 години, для традиційного – через 36-37 годин.

Зміна температури сировини на етапі автолізу значною мірою визначає характер протікання біохімічних процесів. Найбільш інформативним для оцінки можливих змін в м'ясі є показник рН.

Аналіз кінетики зміни рН свідчить про те, що максимальний рівень посмертного заклякання спостерігається через 40 годин після забою. В перші години після забою, внаслідок наявності кисню, зв'язаного міоглобіном, відбувається аеробний гліколітичний процес з накопиченням молочної кислоти, яка і зсуває рівень рН до мінімального значення (рН = 5,7...5,72).

В період часу від 40 до 80 годин після забою спостерігається коливання рівня рН, що пов'язано з амілолітичним розпадом глікогену. В ньому приймають участь шляхом комбінованої дії α -амілаза, аміло – 1:6-глюкозидаза і мальтоза. Наслідком їх дії є вільна глюкоза.

На початкових стадіях автолізу м'язів ВРХ при 4 °C, паралельно з розпадом значної частини м'язового глікогену і накопиченням молочної кислоти спостерігається утворення мальтози, глюкози і незброжених редуруючих полісахаридів. При цьому накопичення редуруючих вуглеводів продовжується упродовж 6 діб дозрівання. В перші години автолітичні зміни вуглеводів м'язів лише обмежено пов'язані з амілолітичним розпадом глікогену і переважно обумовлені інтенсивністю анаеробного гліколізу.

Після 40 годин дозрівання подальший розпад глікогену йде лише амілолітичним шляхом (уповільнення зниження рН). Відповідно, цей

процес характерний для подальших етапів автолізу, які йдуть в період після забійного заляккання.

Аналіз кінетичних залежностей показує, що інтенсивне зниження температури уповільнює фосфоролітичний розпад і вже через 24–30 годин починається амілоліз. Перехід на амілолітичний розпад глікогену через 24 години співпадає зі зниженням температури до рівня 1,5...2 °С. Слід відзначити, що рівень рН м'язів гомілки охолодженої традиційним способом не знижується менше ніж 6,2, в той час як м'яса шокового охолодження значення досягають рівня 6,12.

У м'яса традиційно охолодженого різний зв'язок між зниженням температури і рН. Температура в l.dorsi досягає рівня 1,9...2,0 °С через 16-17 годин після забою, в той час як рН інтенсивно знижується упродовж 40 годин. Після закінчення охолодження, значення водневого показника стабілізується.

Порівняння значень рН тазостегнової частини м'яса дозволяє зробити висновок, що на першому етапі — упродовж 55–60 годин показник для м'яса «шокового» охолодження на 0,3–0,4 більший ніж у традиційно охолодженого. Упродовж послідуючого дозрівання (до 120 годин) значення, незалежно від способу охолодження, коливаються в межах похибки. Засвідчена тенденція пояснюється, скоріш за все, значною товщиною м'язів і повільнішим зниженням температури.

ЭНЕРГОАУДИТ СИСТЕМ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ЗАО «ОДЕССКИЙ ЗАВОД ШАМПАНСКИХ ВИН»

Титлов А.С.¹, Васылив О.Б.¹, Ткаченко Д.П.²

¹ ОНАПТ, г. Одесса

² ЗАО «Одесский завод шампанских вин» (ЗАО «ОЗШВ»), г. Одесса

Одним из значимых факторов обеспечения качества выпускаемой продукции винодельческих предприятий является обработка сырья холодом с последующей длительной термостабилизацией в охлажденном состоянии. На ЗАО «ОЗШВ», как и на аналогичных предприятиях отрасли, процессы обработки вина холодом проходят на первом этапе в жидкост-

ных рассольных теплообменниках, а на втором в акратофорах. Акратофор представляет собой герметичную цилиндрическую емкость с рассольной охлаждающей рубашкой и предназначен для длительного (не менее 5 суток) низкотемпературного хранения виноматериалов на уровне минус 4 ... минус 3 °С.

Так как производство искусственного холода связано с затратами электроэнергии на приводы компрессоров и циркуляционных насосов, то рациональное его использование позволит ЗАО «ОЗШВ» снизить себестоимость выпускаемой продукции.

Как показал анализ, основными источниками потерь холода на ЗАО «ОЗШВ» являются поверхности акратофоров, заполненными виноматериалом и магистральные рассольные трубопроводы. Стандартным решением такой проблемы является установка теплоизоляционного покрытия, однако открытым остается вопрос о выборе толщины теплоизоляции – известно, что рост толщины теплоизоляции увеличивает ее стоимость, но и снижает потери холода и, соответственно, затраты на систему холодоснабжения.

На первом этапе задача ставилась таким образом – зная стоимостные характеристики теплоизоляции и производства искусственного холода, определить период окупаемости на установку теплоизоляционных покрытий на акратофоре и рассольных трубопроводах.

На втором этапе стояла задача провести анализ нестационарных тепловых режимов акратофоров с теплоизоляционным покрытием при различной толщине теплоизоляции и различных режимах термостабилизации акратофора, например, при отключенной циркуляции рассола в охлаждающей рубашке.

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

а) в стационарных условиях можно рекомендовать 60 мм нижним пределом толщины теплоизоляции на акратофорах. Срок окупаемости при сложившейся на первый квартал 2010 года структуры цен на материалы и теплоносители составляет: 1,14 года — для теплоизоляции 60 мм; 1,20 года — для 80 мм; 1,29 года — для 100 мм;

б) анализ теплофизических процессов в нестационарных условиях работы акратофора (при отключения циркуляции рассола) показал наличие стратификации — расслоения разнонагретых слоев по высоте в вино-материале. Для ее устранения необходим внешний побудитель циркуляции, например, мешалка;

в) особое внимание следует обратить на результаты моделирования нестационарных тепловых режимов акратофоров при заполнении объема охлаждающей рубашки акратофора воздухом.

г) нижняя часть акратофора, незакрытая охлаждающей рубашкой, является "слабым звеном" с позиции теплопритоков. Предлагается компенсировать меньшее термическое сопротивление нижней части акратофора за счет установки большего, по сравнению с верхней частью акратофора, теплоизоляционного покрытия.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТЕРЬ МАССЫ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ ПРИ ЕГО ХОЛОДИЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ И ХРАНЕНИИ

Онищенко В.П.¹, Желиба Ю.А.², Харченко С.В.², Фатхи Даях³

¹Одесская национальная морская академия

²Одесская государственная академия холода

³Триполи

Обострение проблем продовольственной безопасности Украины заставляет вернуться в научном смысле не только к восстановлению животноводства, агрокультурных отраслей, но и к углубленной модернизации постурожайных технологий, в частности, технологий обработки и хранения, обеспечивающих минимальные потери массы выращенного пищевого сырья от усушки, микробиологической порчи и, особенно, потерь его пищевой ценности в процессах обработки и длительного хранения.

Динамика формирования потерь массы пищевого сырья при осуществлении его холодильной обработки и холодильного хранения обусловлена процессами испарения воды с поверхности сырья, проникаемо-

стью водяных паров и других атмосферных газов через слои упаковочного материала в окружающую газовую среду. В свою очередь, через слои упаковочного материала диффундирует то или иное количество теплоты, часть которого составляет энергетику фазового превращения воды сырья в водяной пар. Эта теплота может быть рассчитана как результат изменения энтальпии объекта пищевого сырья с учетом выделения в нем теплоты дыхания, структурных фазовых превращений жиров и т.п. В суммарном смысле такие процессы получили название процессов респирации и транспирации и моделируются в рамках различных гипотез о специфике протекания этих процессов. Отсутствие упаковки пищевого сырья принципиально не изменяет физической модели – ее роль выполняет гидравлический пограничный слой (вынужденной или свободной конвекции) газовой среды. Потери пищевой ценности сырья существенно связаны с режимами его холодильной обработки и холодильного хранения, лимитируются кинетикой протекания сложных биохимических реакций в сырье, на практике в основном определяются путем экспериментальных измерений концентраций ценных компонент сырья в течение времени обработки и хранения с учетом характеристик режимов и сортовых отличий.

Моделирование процессов испарения воды с поверхности пищевого сырья может быть осуществлено в рамках гипотезы об изобарно-изоэнтальпийном протекании этого процесса. Изоэнтальпийность процесса предполагает равенство изменений энтальпии объекта сырья и омывающей его газовой среды (газовая среда внутри упаковки или охлаждающая газовая среда, как хладоноситель для неупакованной продукции). При этом важно учесть, что сама газовая среда является газовой смесью переменного состава – во влажном воздухе изменяется ее относительная влажность от начальных значений до максимум 1, а в случае модифицированной (МГС) или регулируемой (РГС) газовых сред изменяются и концентрации других ее компонент (O_2 , N_2 , CO_2 , Ar). Расчет концентраций компонент газовой среды требует наличия термического уравнения состояния, а расчет изменений энтальпий (в изобарном, изотермическом, изовлажностном и др. процессах) требует наличия калорического уравнения состояния газовой смеси переменного состава. Такие уравнения построены нами как уравнения с вириальными коэффициентами, для задач

данной работы с учетом только второго и третьего вириальных коэффициентов. Научное обоснование использования указанной изобарно-изоэнтальпийной гипотезы получено авторами путем экспериментального и теоретического исследования по испарению в поток газа (влажный воздух, N_2 , CO_2) жидкостей (H_2O , CCl_4), твердого тела ($C_{10}H_8$) в психрометрах при различных температурах и давлениях (ниже 1 атм). Также использовались для апробации математической модели экспериментальные данные различных авторов по растворимости указанных веществ в воздухе, газе CO_2 как изотермический процесс при различных давлениях (выше 1 атм) и температурах.

В случае упакованного пищевого сырья формирование потерь массы от усушки сопровождается не только испарением и конденсацией (внутри упаковки) H_2O , но и изменением концентраций O_2 , N_2 , CO_2 , Ar , C_2H_4 . При моделировании этих процессов (респирации и транспирации) показала себя работоспособной (в работах многих авторов) гипотеза о фермент-субстратном комплексе. На ее основе получают систему обыкновенных дифференциальных уравнений, правые части которых являются дробнорациональными функциями концентраций компонент газовой среды (МГС), моделирующих интенсивность изменения этих концентраций во времени. Одним из членов правой части этих уравнений являются выражения (типа источникового члена), содержащие проницаемости слоев упаковочного материала с учетом их зависимости от температуры (формула Аррениуса), наличия трещин, перфорации и т.п. Определенные из экспериментальных данных числовые (эмпирические) коэффициенты этих правых частей позволяют провести эффективное интегрирование соответствующей задачи Коши, прогнозировать состав газовых сред (МГС) для различных режимов холодильной обработки и холодильного хранения, получить удовлетворительную согласованность с экспериментальными хроматографическими данными для изменений во времени состава соответствующих газовых сред с плодовыми и овощными объектами.

Охарактеризованные здесь физическая и математическая модели отображены нами пакетом расчетных процедур на алгоритмическом языке Turbo Pascal, который был реализован (применением методов вычислительной математики) уже для прогнозирования потерь массы от усушки

различного мясного и плодо-овощного сырья при его холодильной обработке и холодильном хранении в охлажденном и замороженном состояниях. Существенная нелинейность расчетной системы уравнений (по температуре сырья, и газовой среды, по относительной влажности воздуха, по концентрациям компонент газовой среды, по проницаемости материалов упаковок, прогнозирование и уточнение количества образовавшегося конденсата и т.д.) обусловила применение расчетных процедур в режиме «прогноз – коррекция». Проведено достаточно объемное сравнение расчетных и экспериментальных данных разных авторов, получено их удовлетворительное согласие как на качественном, так и количественном уровнях. Наиболее полная и удовлетворительная апробация получена на примере формирования потерь массы от усушки различных видов мясного сырья, ввиду наличия для него большого количества экспериментальных данных и соответствующей нормативной документации для потерь, отнесенных к конкретным и четко оговоренным режимам холодильной обработки и хранения. Результаты работы иллюстрируются сравнением большого количества расчётных и экспериментальных данных.

**ДОСЛІДЖЕННЯ БІОХОЛОДОВОЇ ОБРОБКИ
ПЛОДІВ І ОВОЧЕЙ
У ХОЛОДИЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ЗБЕРІГАННЯ
Дідик Н.М., Солових Я.В.
Одеська державна академія холоду**

Ефективність способів зберігання соковитих сільськогосподарських продуктів залежить від здатності системи охолодження та використовуємих технологічних рішень гальмувати у продукті всі процеси життєдіяльності, і зокрема біохімічні. На відміну від інших видів продуктів плоди та овочі більш залежні від незначних змін параметрів мікроклімату і швидше псуються, що обумовлено великою випробувальною здатністю їх, безперервним виділенням фізіологічної теплоти і підвищеною реакцією на втрати вологи. Дихання має визначний вплив на якість продукту при зберіганні, тому що з ним пов'язані такі процеси, як перетворювання

та витрата вуглеводів, втрата води, проростання, інфекційні й фізіологічні захворювання та інші.

Однією з основних причин втрат рослинних продуктів при достроковому зберіганні є мікробіологічні пошкодження. Навіть при низьких позитивних температурах втрати від бактеріальних і, особливо, грибкових захворювань залишаються значними. Крім холоду, для зниження втрат від грибкових і бактеріальних захворювань застосовують різні засоби: ультрафіолетове та радіаційне опромінювання, хімічні препарати, озонування, газові середовища з підвищеним складом вуглецю та азоту. В останні роки підвищена увага приділяється біологічному методу захисту рослин від хвороб і шкідників. За оцінками фахівців з 1995р. спостерігається щорічний приріст ринку біопрепаратів на 4-5%.

Метою проведення експериментальних досліджень було вивчення ефективності застосування мікробіопрепаратів (мбп) в холодильних технологіях зберігання рослинних продуктів. На першому етапі проводили дослідження зберігання картоплі, яку попередньо витримували на протязі 4-х хвилин у водних розчинах мбп: ампеломіцин, вермикулен, триходермін, гаупсин та планриз. Тривалість зберігання досліджених та контрольної (без обробки) партії картоплі склала 145 діб. Результати досліджень показали, що усі препарати інгібували розвиток мікробіологічних процесів, сприяли зниженню інтенсивності дихання, що призвело до зменшення природних та мікробіологічних втрат продукту. Було встановлено, що найкращою здатністю до гальмування мікробіологічних та фізіологічних процесів володіє препарат планриз. Приймаючи до уваги одержані дані та базуючись на результатах досліджень інших авторів для подальших досліджень щодо холодильного зберігання рослинних продуктів був обраний мбп планриз, основу якого складають мікроорганізми роду *Pseudomonas fluorescens*. Дію мбп перевіряли на яблуках сорту Голден та коренеплодах моркви сорту Шантене 2461. Фізіологічний стан коренеплодів моркви у процесі зберігання оцінювали за зміною інтенсивності дихання, яку визначали титрометричним методом. Інтенсивність дихання оброблених коренеплодів у процесі зберігання зменшувалась і через 80 діб склала $7,6 \text{ мгСО}_2/(\text{кг} \cdot \text{год})$, а необроблених, навпаки, збільшувалася і склала $20 \text{ мгСО}_2/(\text{кг} \cdot \text{год})$. Зниження інтенсивності дихання викликано затримкою

процесів дисиміляції запасних речовин, в першу чергу, вуглеводів та органічних кислот, інтенсивно витрачаємих при диханні. Наявність антифунгіцидної активності препарату планриз обумовила у 2 рази зменшення витрат яблук за період 90 діб.

У процесі досліджень перевіряли два способи обробки: занурювання продукту у водяну суспензію препарату планриз, а також зрошування продукту цією суспензією. Попереднє занурювання моркви у холодний розчин планриз (t = 4°C) на 4 хвилини дозволило за період зберігання (τ - 90 діб) знизити природні втрати у 1,4, а мікробіологічні псування у 5 разів в порівнянні із зрошуванням продукту. На основі дослідів встановлено, що попереднє охолодження продукту до температури зберігання при одночасній обробці біопрепаратом планриз дозволило за увесь період зберігання (140 діб) знизити втрати у 12,7 рази, мікробіологічні псування – у 6,2 рази. Обробка моркви та попереднє охолодження до 12°C дозволило також знизити втрати, але у меншій мірі: відповідно у 1,2 рази та 1,6 рази.

Проведені дослідження показали, що засобом значного зниження витрат продуктів та продовження строків зберігання при збереженні високих товарних якостей виявляється поєднання інтенсивного попереднього охолодження продукту з обробкою мбп на основі бактерій штаму *Pseudomonas*. Використання біохолодової обробки продукту дозволяє на 20-30% зменшити енерговитрати на роботу холодильного устаткування камер плодоовочесховищ. Пошук активних штамів-антагоністів, виявлення механізму антагоністичної дії та взаємовідношення мікробів-антагоністів і рослин необхідні для вирішення проблеми зниження витрат соковитих сільськогосподарських продуктів від мікробіологічних псувань.

ЗАМОРОЖУВАННЯ ПЛОДІВ СЛИВ В ЇХ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ СТАНІ

Ковтун І.С.¹, Оніщенко В.П.², Лагутін А.Ю.³

¹Національний університет харчових технологій, м. Київ

²Одеська національна морська академія

³Одеська державна академія холоду

Плоди слив в рамках одного сорту та урожаю характеризуються деякою стабільністю (малий розкид від середніх значень) розмірів та форми. Це зумовлює можливості достатньо ефективного створення з них псевдозріженого шару у відповідному швидкокоморозильному конвеєризovanому апараті, часто без попереднього сортування за розмірами. Але, кожен раз перед здійсненням процесу їх заморожування з метою подальшого довготривалого зберігання в замороженому стані, виникає потреба швидкого комп'ютерного розрахунку (прогнозування) тривалості процесу заморожування, теплових навантажень на швидкокоморозильний апарат (необхідної холодовидатності), режимних характеристик процесу заморожування в охолоджуючому повітрі в залежності від розмірів плодів, їх форми, вологовмісту, сортових теплофізичних відмінностей плодів, характеристик швидкокоморозильного апарату. Промислова реалізація таких процесів вимагає і промислового впровадження відповідних математичних моделей та комп'ютерних програм, безпосередньо зв'язаних з системою вибору режимів роботи чи управління (ручного чи автоматизованого) швидкокоморозильним апаратом. Розробці та апробації такої математичної моделі присвячено дану роботу.

Першою задачею на шляху розв'язку поставлених проблем є розрахунок, залежних від температури, теплофізичних властивостей (c , ρ , λ , i) плодів слив. Тут нами створена відповідна розрахункова процедура на мові Turbo Pascal, вхідними даними для якої є концентрації компонент (протеїни, жири, карбогідрати, органічні кислоти, зола, вода), температурна залежність частки вимороженої води.

Змінні в часі температурні поля та питомі значення теплових потоків з поверхні окремих слив визначаються в рамках чисельного комп'ютерного алгоритму, що реалізує розв'язок відповідної до геометрії плодів нелінійної крайової задачі теплопровідності. Розраховується також для кожного моменту часу досягнута середньомасова температура, за значеннями якої визначаються необхідна тривалість процесу заморожування, швидкість руху стрічки конвеєра тощо.

В роботах різних авторів щодо моделювання процесів заморожування плодо-овочевої сировини у псевдозріженому стані на жаль немає однозначності у виборі співвідношень для розрахунку значень коефіцієн-

ту тепловіддачі з поверхні окремих тіл до охолоджуючого псевдозріджу-
ючого середовища. Тут ми вибрали співвідношення В. Гнилінського
(Справочник по теплообменникам. В 2-х томах. Т.1: пер. с англ. / под ред.
Б. С. Петухова, В. К. Шикова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 560 с.)

$$Nu_{\delta} = Nu_{min} + \sqrt{Nu_{\delta,lam}^2 + Nu_{\delta,turb}^2} ,$$

$$Nu_{\delta,lam} = 0.664 \cdot \sqrt{Re_{\delta}} \cdot \sqrt[3]{Pr} ,$$

$$Nu_{\delta,turb} = \frac{0.037 \cdot Re_{\delta}^{0.8} \cdot Pr}{1 + 2.443 \cdot Re_{\delta}^{-0.1} \cdot (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} ,$$

які ефективно описують коефіцієнти тепловіддачі з поверхні тіл рі-
зної геометричної форми при їх зовнішньому обтіканні потоком газу чи
рідини. При цьому для розрахунку чисел Re , Nu завжди вибирається ха-
рактерний розмір δ тіла як довжина лінії його обтікання. Вона визнача-
ється як відношення загальної площі поверхні тіла до максимального пе-
риметру в площині, перпендикулярній до омиваючого потоку газу чи рі-
дини. Враховуючи, що форма слив близька до сфер, еліпсоїдів, вибрано
значення $Nu_{min}=2$. Важливо при розрахунках коефіцієнтів тепловіддачі
враховувати і складові випаровуванням води, теплообміну випроміню-
ванням між поверхнею об'єктів заморожування та поверхнею обгоро-
джуючих, найчастіше металічних, конструкцій швидкоморозильних апа-
ратів. Необхідність при таких розрахунках знання температури поверх-
ні $T_s(\tau)$ об'єктів заморожування досягається при вище відмічених розра-
хунках температурних полів та теплових потоків в рамках алгоритму
«прогноз- корекція».

Вибір значень необхідних характеристик псевдозрідженого шару
слив послідовно розраховується за формулами :

- висота H псевдозрідженого шару з порозністю ε розраховується за
умови , що він формується за рахунок аеродинамічних сил, які «підійма-
ють» нерухомий шар слив відповідно висотою H_0 та порозністю ε_0 , при
цьому баланс маси слив дає

$$H \cdot (1 - \varepsilon) = H_0 \cdot (1 - \varepsilon_0) ;$$

- необхідний для цього мінімальний перепад тиску (напір) урівноважується сумарною масою слив у повітрі

$$\frac{\Delta P}{H} = g \cdot [\rho_{ms} \cdot (1 - \varepsilon) + \rho_{nos} \cdot \varepsilon];$$

- еквівалентний аеродинамічний діаметр для потоку повітря дорівнює (A – питоме значення площі теплообмінної поверхні; для тіл, близьких до сфери, $A=6/d$, де d – екві-валентний діаметр слив)

$$d_{екв} = \frac{4 \cdot \varepsilon}{A \cdot (1 - \varepsilon)};$$

- критична швидкість зріджуючого повітря $u_{кр}$ (відповідно критичне значення числа Рейнольдса $Re_{кр}=u_{кр} \cdot d / \nu$) визначається за формулою

$$Re_{кр} = \frac{Ar}{1400 + 5.22 \cdot \sqrt{Ar}}, \quad Ar = \frac{g \cdot d^3 \cdot \rho_{ms} - \rho_{nos}}{\nu^2 \cdot \rho_{nos}};$$

При великих значеннях пористості ($\varepsilon_0 > 0.48$) початкового нерухомого шару рекомендується розрахункова формула

$$Re_{кр} = \frac{Ar}{710 + 4 \cdot \sqrt{Ar}};$$

- швидкості руху зріджуючого повітря, більших за $u_{кр}$ і при яких можливе унесення окремої сливи за межі псевдозрідженого шару, визначаються за співвідношенням

$$Re_t \cong \sqrt{\frac{4}{3} \cdot Ar}.$$

В границях між $Re_{кр}$ та Re_t псевдозріджений шар характеризується, як правило, такими значеннями пористості шару, що теплообмін між зріджуючим повітрям та сливами наближається до теплообміну між повітрям та окремими сливами, стає можливим розраховувати відповідні значення коефіцієнтів конвективної тепловіддачі (Nu) за вище наведеними формулами.

В рамках представлених моделей авторами проведено апробаційні розрахунки змін температурних полів при заморожуванні ягід вишні та слив, що одержані експериментально рядом дослідників. Результати апробації показали задовільне узгодження розрахованих та експерименталь-

них даних, що свідчить про можливість використання розроблених розрахункових програм для здійснення процесів заморожування в промислових умовах.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ НИЗКО-ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

**Петушенко С.Н.
ОНАХТ, г. Одесса**

Актуальность использования искусственного холода при первичной обработке и хранении зерна на входе определяется следующими факторами.

Во-первых, разработка охлаждающих комплексов позволит осуществлять холодильную обработку сельскохозяйственного сырья непосредственно в местах его заготовок и способствует повышению качества и продолжительности сроков хранения.

Во-вторых, метод охлаждения зерна позволяет хранить зерно и семена масличных культур с повышенной влажностью на протяжении длительного времени .

В-третьих, кроме того, что метод сохраняет качество зерна, он является экологически чистым — традиционная в странах СНГ сушка, как правило, проводится смесью топочных газов и воздуха, что вызывает загрязнение канцерогенными веществами. Охлажденное зерно остается экологически чистым (исключается загрязнение углеводородами, сажей, окислами серы и азота, тяжелыми металлами, нитритами и нитратами) и качественным (отсутствует денатурация белка).

В-четвертых, предотвращение потерь объема и качества вследствие жизнедеятельности насекомых возможно, эффективно избежать при охлаждении урожая до температуры ниже 13 °С.

При соответствующих низких температурах насекомые впадают в зимнюю спячку и не приносят вреда складированному зерну.

В-пятых, реализация профилактики роста плесневых грибов. Благоприятным условием для развития плесневых грибов, в числе прочего, является тепло, а охлаждение зерна предотвращает его.

В-шестых, удается избежать дорогой и вредящей окружающей среде химической обработки зерна. Химические субстанции, необходимые для газации, влекут за собой существенные расходы и сложную процедуру.

В-седьмых, отсутствие потерь при перескладировании. При обычном складировании без охлаждения зачастую необходимо перескладирование, также необходимо дополнительное свободное складское помещение (камера силоса), при этом при каждом перескладировании имеют место потери до 0,03 % общего количества. К этому добавляется экономия на энергообеспечение технических установок.

В-восьмых, минимизация потерь вследствие дыхания зерна. В статичном состоянии насыпь зерна крайне медленно принимает энергию. Это является результатом изолирующего эффекта воздуха в промежуточных пространствах между зёрнами и малой контактной поверхности зёрен. В связи с этим теплое зерно при низкой наружной температуре воздуха долго сохраняет тепло. Соответственно, на основании того же самого эффекта охлажденное зерно долго остается холодным.

Следует отметить, что среди всех типов зерновых продуктов особый интерес для низкотемпературной сушки представляют сорта мелкого зерна (рапс, лен, просо, горчица, амарант и др.). Они из-за незначительно-го характерного линейного размера наиболее подвержены повреждению при сушке нагревом.

В настоящее время отсутствуют какие-либо данные по кинетике охлаждения зерна и процессов тепломассообмена в этих условиях.

Целью данной работы является изучение особенностей режимов тепловлажностной обработки зерновых продуктов в широком диапазоне температур и влагосодержаний потока воздуха, как агента низкотемпературной сушки.

Для проведения экспериментальных исследований был изготовлен специальный стенд. С целью сокращения количества опытов, повышения достоверности полученных результатов и упрощения их обработки, наиболее целесообразно применение методов планирования многофакторных экспериментов и соответствующих программ для обработки и статистического анализа результатов.

В процессе проведения экспериментальных исследований для определения скоростей и расхода воздуха микроанометр ММН и дифференциальная трубка Пито.

Температура воздуха и зерна определялась с помощью термометров сопротивления и электронного блока.

Относительная влажность воздуха определялась с помощью психрометра Ассмана. Количество уносимой влаги из зерна весовым способом с помощью электронных лабораторных весов. Начальная и конечная влажность зерна определялась в лабораторных условиях на приборе СЕШ-3М.

Были проведены экспериментальные исследования кинетики охлаждения мелкосеменных культур от режимов охлаждения — семян рапса и проса.

Начальная массовая доля влаги исследованных образцов семян составляла 14 %.

В первом случае охлаждение зерна сопровождалось снижением его влажности на 1,13 %, во втором случае — на 0,98 %.

Выводы

1. Охлаждение зерна мелкосеменных культур ниже окружающей среды сопровождается частичным его осушением для рапса – 1,13 %, для проса – 0,98 %.
2. Максимальная интенсивность уноса влаги наблюдается вначале термообработки. Так, например, при снижении температуры на 50 % от начальной температуры зерна унос влаги составляет для рапса – 90 %, проса – 80 %.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКОГО ЛЬДА В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ ТУШЕК ПТИЦЫ

Титлов А.С., Горькин С.Ф., Васылив О.Б.,

Савинок О.Н., Запольнов В.И.

ОНАПТ, г. Одесса

В последнее время на предприятиях рыбной промышленности и торговли всё шире используется жидкий лёд (binary ice – в дальнейшем ВІ) и его смеси с водой. Известны попытки использования ВІ-технологии и для охлаждения битой птицы (Канада, Россия).

Основой для получения ВІ служит морская, либо обычная подсолённая вода, предварительно прошедшая специальную электрообработку. Попадая в зону низких температур ВІ-льдогенератора, такой раствор синтезирует микроскопические кристаллы льда размером менее 0,01 мм, которые образуют гелеобразную консистенцию, используемую в целях охлаждения как жидкий лёд.

При этом одновременно сохраняются преимущества леяного и жидкостного охлаждения пищевых продуктов: высокая аккумулятивная способность хладоносителя (до 330 кДж/кг) при постоянной низкой температуре фазового перехода лёд-вода, с одной стороны, и возможность его транспортировки с помощью насоса по трубопроводам, с другой. Кроме того, появляется изотермический контакт хладоносителя с охлаждаемым продуктом любой геометрической формы и размеров.

В работе рассмотрены принципиальные преимущества и недостатки ВІ-технологии, предложен ряд конкретных схем охлаждения битой птицы и обсуждаются преимущества и недостатки каждой из них. Показано, что расход жидкого льда при различных схемах охлаждения может составлять от 30 до 10 процентов от массы охлаждаемой птицы.

Рассмотрены возможности использования в технологических схемах охлаждения тушек птицы существующего модельного ряда генераторов жидкого льда ДWT и генераторов Bubble Slurry фирмы Crytec.

Проведенные расчёты показали перспективность работ по внедрению ВТ-технологии: за счёт интенсификации процесса охлаждения тушек появляется возможность производственные площади и существенно са-

нитарно-гигиенические и технико-экономические показатели предприятия.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УПАКОВКИ НА ТЕПЛОВУЮ ИНЕРЦИЮ ПРИ ПОДДЕРЖАНИИ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА В ОБЪЕМЕ КОНТЕЙНЕРОВ С ФРУКТАМИ ПРИ НАРУШЕНИЯХ РЕГЛА- МЕНТИРУЕМОГО ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ХРАНЕНИЯ.

Кочетов В.П., Томчик Е.Н.

Одесская государственная академия холода

Обязательным условием эффективного хранения плодоовощной продукции является создание и поддержание на постоянном уровне технологических параметров воздуха в камере - температуры, относительной влажности и скорость движения воздуха в камере, а также обеспечение их равномерности по всему объему камеры в течение всего периода хранения.

В настоящее время при холодильном хранении растительной продукции, помимо хранения в обычной газовой среде (ОГС), широко используются технологии хранения в РГС, МГС, гипербарическое хранение, условием эффективного применения которых является поддержание на постоянном уровне параметров технологического регламента. Так, колебания температуры воздуха в камере приводят к усилению интенсивности дыхания плодов, а также к нарушению состава газовой среды (РГС, МГС), что негативно влияет на результаты хранения.

Применение тары с повышенной тепловой инерционностью [1, 2, 3] позволяет продлить срок хранения продукции за счет создания равномерного температурного поля в объеме тары.

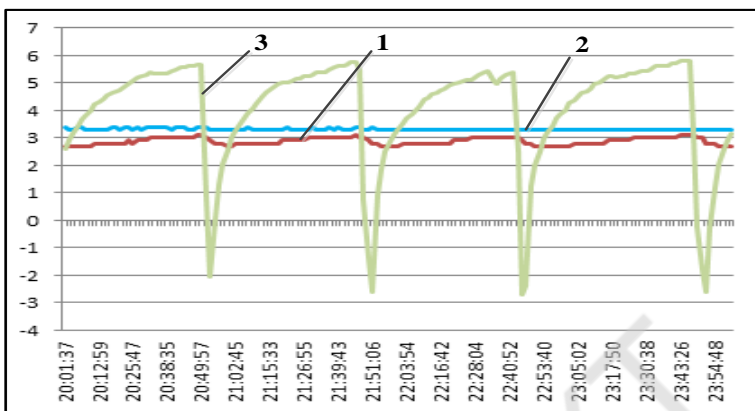
Предлагаемая тара для хранения плодоовощной продукции представляет собой пластиковый ящик с крышкой, с двойными стенками. В зазоре между стенками, находится жидкость с высокой тепловой инерцией (вода, водные растворы солей). Жидкость поглощает тепловой поток от

камеры к продукту, возникающий из-за колебаний температур в камере и обеспечивает минимальные колебания температур внутри тары, а также является аккумулятором холода при остановке работы холодильного оборудования.

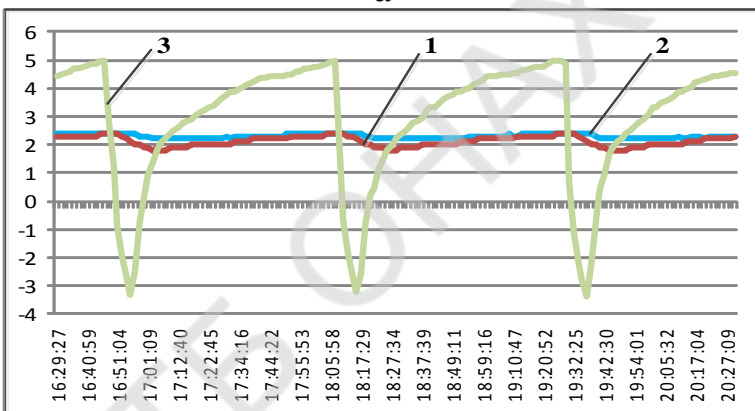
Экспериментальные исследования с целью изучения влияния конструктивных характеристик упаковки на тепловую инерцию при поддержании температурно-влажностного режима в объемепластиковых контейнеров с фруктами при нарушениях регламентируемого температурно-влажностного режима хранения проводились в 2009 – 2011 гг. в лаборатории ПНИЛ ОГАХ.

В I и II частях исследований рассматривалось влияние различных по длительности тепловых воздействий извне на температуру продукции при наличии температурных колебаний в камере; толщина водяной прослойки оставалась неизменной [4].

В III части – влияние постоянных периодических колебаний температуры в камере на температуру продукции при различной толщине водяной прослойки. Толщина прослойки составляла от 10 до 30 мм. В контейнерах без водяной прослойки колебания температуры имели место частые колебания температуры продукции в интервале 0,5 – 0,7°C. В контейнерах с водяной прослойкой колебания температуры продукции не превышали 0,2 °C, частота колебаний зависит от толщины прослойки (рис. 1).



а



б

Рисунок 1– Колебания температуры плодов при различных значениях толщины водяной прослойки: а – толщина прослойки, б – толщина прослойки; 1– температура плодов в ящике без водяной прослойки; 2 – температура плодов в ящике с водяной прослойкой; 3 – температура в камере.

Литература

1. Патент Украины на полезную модель № 41517, приоритет 22.12.2008 г.
2. Патент Украины на полезную модель № 48587, приоритет 29.09.2009 г.
3. Патент Украины на полезную модель № 44897, приоритет 9.02.2009 г.

4. В.П. Кочетов, Е.Н. Томчик. Хранение растительной продукции с применением новых упаковок с повышенной тепловой инерционностью. // Холодильная техника и технология, № 6, 2010 г., с. 53-57.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРИМОРОЖУВАННЯ М'ЯСА В НАПІВТУШАХ

Онiщенко В.П.¹, Желіба Ю.О.², Харченко С.В.²

¹ Одеська національна морська академія,

² Одеська державна академія холоду

Виробництво примороженого м'яса традиційно здійснюють для зручності його транспортування з метою подальшого використання для промислової переробки. Відповідно, таке м'ясо і не заморожене до кінцевих середньомасових температур (мінус 8 °С чи мінус 18 (-25) °С). Як наслідок, при цьому досягається енергозбереження при виробництві та зниження природних втрат від усихання. За ДСТУ 3938-99 в кінці процесу приморожування півтуш температура на глибині 1 см від поверхні стегнової частини повинна складати від мінус 5 °С до мінус 6 °С, а на глибині 6 см – від 0 °С до +2 °С; товщина прошарку м'яса, в якому температура, нижча температури початку кристалізації води в м'ясі, не повинна перевищувати 4 см.

Проте ці вимоги ДСТУ не є узгодженими між собою відносно температурних діапазонів на глибинах 1 см і 6 см, товщиною примороженого прошарку, одержанням пружного стану півтуш та ін. Математичним прогнозуванням характеристик процесів та експериментальними дослідженнями авторами доповіді було підтверджено, що узгодження характеристик процесу можливо досягти, якщо поставити вимогу, щоб кінцева середньомасова температура приморожених півтуш складала не вище, ніж мінус 2 °С. Саме таке значення температури встановиться в приморожених півтушах після вирівнювання полів температур та часток вимороженої води по об'єму, будуть досягнуті вимоги щодо їх пружистості при підйомах та транспортуванні.

Таким чином приморожування парних туш, півтуш здійснюють у камерах чи тунелях інтенсивної холодильної обробки, а в кінці процесу приморожування їх середньомасова температура не повинна бути вище, ніж мінус 2 °С. Значення паспортних характеристик охолоджуючого повітря під час реалізації процесу приморожування в камерах, тунелях заморожування мають бути такими ж, як і для процесу заморожування. Тривалості процесів необхідно вибирати, виходячи з вимог до кінцевих значень середньомасової температури півтуш різних мас та вимог щодо досягнення ефекту енергоресурсозбереження.

Рекомендовані тривалості процесу приморожування, товщина примороженого прошарку в кінці цього процесу при реалізації паспортних значень температури мінус 30 °С та швидкості руху охолоджуючого повітря не меншої 0.8 м/с повинні бути не меншими, а температури на глибині 6 см стегових частин туш, півтуш не вищими, ніж наведені в табл. 1 для яловичини I категорії та в табл. 2 для свинини.

Таблиця 1

Маса півтуш, кг	60	80	110	130	160
Тривалість процесу, годин	10.0	11.5	13.4	14.7	16.1
Температура на глибині 6 см, °С	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9
Товщина примороженого шару, см	4.3	4.7	5.2	5.6	5.8

Таблиця 2

Маса півтуш, кг	30	40	45	50	60
Тривалість процесу, годин	7.0	8.0	8.5	9.0	9.8
Температура на глибині 6 см, °С	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7
Товщина примороженого шару, см	3.4	3.7	3.9	4.0	4.2

При інших значеннях характеристик охолоджуючого повітря тривалості процесу приморожування, температури сировини та товщини промороженого прошарку звичайно інші, визначені авторами для різноманітних комбінацій характеристик охолоджуючого середовища, мас напівтуш та технологічних ланцюгів виробництв, враховуючи використання попереднього охолодження та попереднього заморожування.

Висновки. Отримання характеристик процесів приморожування за допомогою апробованих математичних моделей дозволяє виробництву упередити цілий ряд технологічних та організаційних проблем і закласти основи технологічного, енергоресурсозберігаючого контролю процесів холодильної технології обробки м'ясної сировини.

ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНОГО ХОЛОДУ В СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ КАРТОПЛЕ- ТА ПЛОДООВОЧЕСХОВИЩ

Дідик Н.М., Липа О.І.

Одеська державна академія холоду

Процеси довгострокового зберігання сільськогосподарських продуктів є одним з найбільш енергоємних, тому що виробництво і використання штучного холоду пов'язане з великими енерговитратами. У той же час існує багато способів і технологій зберігання, які при науковому обґрунтуванні і правильному технічному рішенні можуть бути визначені енерго- і ресурсозберігаючими. В першу чергу це відноситься до застосування природного холоду у системах охолодження картопле- та плодоовочесховищ. Використання природного холоду залежить від географічного розташування сховища, тому при виконанні роботи були вирішені наступні питання: а) визначені кліматичні особливості району; б) обґрунтовані норми питомої витрати вентиляючого повітря та коефіцієнти робочого часу вентиляторів у залежності від кліматичної зони та виду продукту; в) розрахована тривалість охолодження різних видів продуктів при даних значеннях питомої витрати повітря; г) обґрунтовані системи повітро-

розподілу, які забезпечують мінімальний підігрів повітря у магістральних та роздавальних каналах; д) визначені максимально припустимі значення питомої поверхні зовнішніх огорожень сховищ. При визначенні придатності кліматичних умов для використання природного холоду орієнтувалися на нормативні строки завантажування сховищ, припустиму тривалість охолодження і розрахункову початкову температуру продукту.

Результати розрахунків показали, що для зон з розрахунковою зимовою температурою -30°C при зберіганні картоплі з використанням тільки природного холоду питому витрату повітря необхідно приймати $50\dots 70 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{год})$, коренеплодів – $100\dots 150 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{год})$, капусти – $100\dots 120 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{год})$. У кліматичній зоні з розрахунковою зимовою температурою -20°C зберігання картоплі з використанням природного холоду виявляється можливим тільки, коли питома витрата повітря складає $120\dots 150 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{год})$. Зберігання інших видів продукції у тих же кліматичних зонах потребує комбінованого використання, штучного та природного, або лише штучного холоду. Аналіз основних температурних характеристик та проведені розрахунки показали, що навіть в умовах півдня України можливе зберігання картоплі, буряку, моркви, капусти, цибулі та яблук зимових сортів при частковому використанні штучного холоду.

За результатами дослідження на географічній карті України, згідно економічним та технологічним показникам, визначені зони, які виявляються найбільш придатними для зберігання різних видів рослинних продуктів із використанням природного холоду.

Встановлено, що найбільш ефективною системою охолодження при застосуванні природного холоду є система активного вентилявання. При проектуванні таких систем необхідно надавати перевагу використанню наземних повітророзподільних каналів, які знаходяться безпосередньо у насипу продукту, а у випадку необхідності використання каналів, які знаходяться під підлогою, передбачати у них зволоження повітря для усунування шляхового підігріву від ґрунту.

На основі проведених досліджень запропоновано система зволоження припливного повітря з використанням гідравлічних форсунок високого тиску типу Impaction-pin, які встановлюються безпосередньо у по-

вітроводах. Для розпилу 450 л/год витрачається всього лише 1,1 кВт, що складає 3% витрат енергії установок із пневматичними форсунками.

При розробці проектів плодоовочесховищ з використанням природного холоду слід враховувати, що питомі тепловитрати крізь огороженія сховищ взимку порівняні з питомою теплою дихання продукту. Тому при розробці ефективних систем інженерного забезпечення зберігання картоплі, плодів та овочів необхідно передбачати захист штабелів з продуктом, які розташовані біля стін, від підмерзання шляхом використання фізіологічної теплоти, яка повинна відводитися.

Рациональне використання природного холоду та прийняття інженерних рішень з проектування картопле- та плодоовочесховищ на основі наукового обґрунтування дозволять зменшити витрати продуктів на 20...30% енергії – на 25...30% у галузі АПК України.

ИССЛЕДОВАНИЕ, ОРГАНИЗАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ СКЛАДОВ ХРАНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ.

**Лелица Е.А., Кочетов В.П., Чепурненко В.П.
Одесская государственная академия холода**

Развитие холодильного хозяйства является одной из приоритетных задач сферы обеспечения населения необходимыми продуктами питания. Однако в настоящее время действующие хранилища покрывают потребности внутреннего рынка Украины максимум на 20-25%.

Большая часть имеющихся складов – склады постройки советских времен, которые не могут эффективно использоваться вследствие устаревших технологий, физического и морального старения холодильников. Оглядываясь на опыт передовых стран мира можно отметить перестройку экономики, которая выражается в разработке и внедрении новейших технологий.

Энергопотребление систем холодоснабжения, а так же качество закладываемого в хранилище продукта зависит от состояния холодильного оборудования, от качества строительных и изоляционных конструкций охлаждаемых помещений, от уровня профессиональной подготовки об-

служивающего персонала. Эксплуатация старого морально и физически изношенного оборудования ведет к большим энергетическим потерям и повышению потребления электроэнергии на предприятии, в результате чего на единицу производимой продукции затрачивается в разы больше энергоресурсов, чем в индустриально развитых странах

Созданные ранее объекты не в состоянии удовлетворить современные потребности в хранении продукции, а значит, нуждаются в комплексном исследовании, реконструкции и обосновании перспектив развития холодильного хозяйства в целом, проведении анализа существующих систем холодоснабжения и обозначении путей повышения их энергетической эффективности.

Вместе с тем нельзя не упомянуть проблему отсутствия единой системы аудита холодильного хозяйства – проблему информационного, методологического характера, связанную с получением, анализом и накоплением данных по таким аспектам как:

- Основные технико-экономические показатели холодильника (условная емкость, суточная производительность по охлаждению, установленная мощность, тип системы охлаждения);
- Состав и расположение холодильника;
- Характеристика камер и ограждающих конструкций;
- Контроль за установленным холодильным оборудованием, средствам автоматической защиты и управления.

Упомянутые обстоятельства определяют организационные и технологические требования к созданию модели современного склада растительной продукции с учетом внедрения современных инженерных технологий при его проектировании, так же комплексное исследование научно-методических аспектов проблемы развития холодильного хозяйства, что позволит определить организационно-функциональную структуру существующих хранилищ и их технико-экономические характеристики, разработать информационно-методические документы по обеспечению организации и модернизации холодильного хозяйства.

РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА НА ХЛІБЗАГОТІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

Петушенко С.М., Станкевич Г.М., Кудашев С.М.

ОНАХТ, м. Одеса

На основі аналізу умов роботи хлібозаготівельних підприємств України, запропоновані наступні схеми холодильної обробки зерна:

а) попередня холодильна обробка зерна перед завантаженням у силос або бункер (схема “А”);

б) холодильна обробка завантаженого в силос або бункер зерна (схема “Б”);

в) комбінована схема, що пропонує початкову холодильну обробку зерна перед завантаженням у силос або бункер і остаточне доведення до необхідних параметрів після завантаження (схема “В”).

В умовах теплого часу року очевидним для всіх схем є періодичний контроль температур зернового засипання, а при необхідності й охолодження.

Розглянемо докладніше запропоновані схеми холодильної обробки.

Схема “А” використовується для охолодження потоку зерна. Вона може бути реалізована в промислових зерносушильних або в спеціально виготовлених теплообмінних апаратах, наприклад, типу “труба в трубі”. У першому випадку охолодження зерна відбувається при взаємодії його з потоком охолодженого повітря, а в другому може бути використана крижана вода. Для реалізації першого випадку необхідний або стандартний центральний кондиціонер, або холодильна машина з повітроохолоджувачем. В другому випадку необхідно використовувати різні чілери. Джерелом холоду й у першому і в другому випадку можуть бути як парокompресорні холодильні машини, так і тепло використовуючи абсорбційні бромистолітєві холодильні машини (АБХМ). Перевага АБХМ зв'язана з можливістю використання в роботі джерел непридатного низькопотенційного тепла (відхідних потоків газів з камер згоряння печей, котлів, тощо). Схема “Б” може бути реалізована двома способами: а) стаціонарним охолодженням; б) мобільним періодичним охолодженням

При стаціонарному охолодженні необхідна установка охолоджую-

чого теплообмінного устаткування в об'ємі зернового засипання. Це підвищує ефективність процесів охолодження, але припускає додаткові базові капітальні витрати на виготовлення.

Мобільне періодичне охолодження зернового засипання в силосах активно просувається на ринок фірмою «Granifrigor» (Німеччина). Переваги способу пов'язані з простотою реалізації і мінімальних капітальних витратах. До недоліку можна віднести використання тільки електричних джерел енергії.

Висновки. При стаціонарному охолодженні можуть бути використані різні тепловикористовуючі холодильні машини, що працюють на непридатних джерелах теплової енергії. Схема "В" є універсальною і дозволяє ефективно впливати на зернову масу на всіх етапах зберігання.

РОЗРОБКА ОХОЛОДЖУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ НА ОСНОВІ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ РОБОЧИХ ТІЛ

Тітлов О.С., Петушенко С.М., Кудашев С.М.

ОНАХТ, м. Одеса

Розробка охолоджувальних комплексів, дозволить здійснювати безпосередню холодильну обробку сільськогосподарської сировини безпосередньо в місця їхнього заготівлі і сприяє підвищенню якості і тривалості термінів зберігання. При охолодженні в порівнянні з традиційною сушкою зерно виходить екологічно чистим, виключена денатурація білка, забруднення зерна вуглеводнями, сажею, окислами сірі і азоту, важкими металами, нітридом і нітратами. Комплексне використання штучне охолодженого повітря при зберіганні зерна і теплоти, що виділяється при цьому в конденсаторі, для підігріву, підсушування зерна або опалення теплиць, приміщень є ідеєю нині покійного академіка Міжнародної академії холоду В.Ф. Чайковського. Зниження енерговитрат досягається внаслідок того, що установка працює в режимі теплового насоса, а це дозволяє не тільки охолоджувати зерно, але і скидне тепло надалі використовувати для екологічно чистої сушки зерна, наприклад: для підігріву у разі використання

як насінного матеріалу або у разі переробки на борошномельних і круп'яних заводах; опалювання приміщень теплиць і так далі

З урахуванням необхідної холодильної потужності і масогабаритних характеристик, в мобільних системах охолодження зерна найбільші перспективи мають парокомпресійні холодильні машини (ПКХМ) і газові (повітряні) холодильні машини (ГХМ).

До переваг ГХМ відносять відсутність проблем з робочим тілом – повітря вибухопожежобезпечне і може подаватися безпосередньо в охолоджувани приміщення. ГХМ прості в експлуатації і не роблять вплив на озоновий шар атмосфери. До недоліків ГХМ відносять низьку енергетичну ефективність при роботі на температурному рівні мінус 30 ... мінус 20 °С.

Проблеми використання ПКХМ в системах охолодження зерна пов'язані з переходом на озонобезпечні робочі тіла – холодоагенти.

В даний час пропонується цілий спектр заміників традиційного холодоагенту ПКХМ – R12 , у тому числі і природними, наприклад, аміаком.

Не дивлячись на те, що в даний час найбільшого поширення набули мобільні холодильні установки парокомпресійними холодильними агрегатами, певні перспективи мають і розсолні тепловикористуючі абсорбційні холодильні машини (АХМ) і пароежекторного типу (ПЕХМ). У цих установках прагнуть використовувати тепло низького потенціалу, зокрема, теплоту вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання, скидного тепла газотурбінних установок і котельних агрегатів. Електроенергія в АХМ і ПЕХМ витрачається лише на привід перекачуючих, циркуляційних і розсолів насосів і в системах автоматики. У АХМ частка електроенергії в сумарному підведенні енергії складає від 0,5 % до 2,3 %. У ПЕХМ ця величина складає ~ 0,6 %.

Для порівняння тепловикористуючими холодильними машинами візьмемо сучасну велику аміачну ПКХМ з компресором П220. Розрахунки показують що, в ПКХМ витрати електроенергії на виробництво одиниці штучного холоду, наприклад, 1 кВт, складає 0,13 кВт; у бромістолітевих АХМ – 0,008 кВт, водоаміачних АХМ – 0,04 кВт; ПЕХМ – 0,1 кВт. Ці результати розрахунків говорять про те, що за наявності скидних джерел

теплової енергії експлуатаційні витрати тепловикористуючих холодильних машин значно нижчі, ніж в ПКХМ.

Перевагою ПЕХМ і АХМ великої холодопродуктивності є і те, що вони менш громіздкі, чим відповідні ПКХМ.

Великий інтерес викликають ПЕХМ на озонобезпечному R134a. Ці установки забезпечують можливість використання низькопотенційного тепла на рівні температур плюс 70 °С, конструкції їх компактніші, а тиск в системі підтримується вище атмосферного, що виключає підсос повітря у випарник.

Ефективність використання мобільних холодильних установок визначається інтенсивністю процесів теплообміну між холодним повітрям і зерном. У сучасних сховищах – силосах товщина зернового шару складає, не менше, 10 метрів, діаметр - 3 ...5 метра. При традиційному рішенні (подача охолодженого повітря в нижню частину силосу) виникають проблеми рівномірного розподілу повітряного потоку за об'ємом зернового шару. Ця проблема може бути успішно за допомогою високоєфективних двофазних теплових систем, наприклад, термосифонів, вбудованих до складу конструкції силосу.

Висновки. З врахуванням приведених результатів порівняльного аналізу, а також відомих переваг тепловикористуючих холодильних машин в частині екологічної безпеки, можна рекомендувати їх як мобільні холодильні установки на елеваторах і зерноскладах України і країн СНД.

ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНОГО ХОЛОДУ В СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ КАРТОПЛЕ- ТА ПЛОДООВОЧЕСХОВИЩ

**Дідик Н.М., Липа О.І.
ОДАХ, Одеса**

Процеси довгострокового зберігання сільськогосподарських продуктів є одним з найбільш енергоємних, тому що виробництво і використання штучного холоду пов'язане з великими енерговитратами. У той же час існує багато способів і технологій зберігання, які при науковому обґрунтуванні і правильному технічному рішенні можуть бути визначені

енерго- і ресурсозберігаючими. В першу чергу це відноситься до застосування природного холоду у системах охолодження картопле- та плодочесовищ. Використання природного холоду залежить від географічного розташування сховища, тому при виконанні роботи були вирішені наступні питання: а) визначені кліматичні особливості району; б) обґрунтовані норми питомої витрати вентиляючого повітря та коефіцієнти робочого часу вентиляторів у залежності від кліматичної зони та виду продукту; в) розрахована тривалість охолодження різних видів продуктів при даних значеннях питомої витрати повітря; г) обґрунтовані системи повітро-розподілу, які забезпечують мінімальний підігрів повітря у магістральних та роздавальних каналах; д) визначені максимально допустимі значення питомої поверхні зовнішніх огорожень сховищ. При визначенні придатності кліматичних умов для використання природного холоду орієнтувалися на нормативні строки завантажування сховищ, припустиму тривалість охолодження і розрахункову початкову температуру продукту.

Результати розрахунків показали, що для зон з розрахунковою зимовою температурою $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ при зберіганні картоплі з використанням тільки природного холоду питому витрату повітря необхідно приймати $50\text{...}70\text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{год})$, коренеплодів – $100\text{...}150\text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{год})$, капусти – $100\text{...}120\text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{год})$. У кліматичній зоні з розрахунковою зимовою температурою $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ зберігання картоплі з використанням природного холоду виявляється можливим тільки, коли питома витрата повітря складає $120\text{...}150\text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{год})$. Зберігання інших видів продукції у тих же кліматичних зонах потребує комбінованого використання, штучного та природного, або лише штучного холоду. Аналіз основних температурних характеристик та проведені розрахунки показали, що навіть в умовах півдня України можливе зберігання картоплі, буряку, моркви, капусти, цибулі та яблук зимових сортів при частковому використанні штучного холоду.

За результатами дослідження на географічній карті України, згідно економічним та технологічним показникам, визначені зони, які виявляються найбільш придатними для зберігання різних видів рослинних продуктів із використанням природного холоду.

Встановлено, що найбільш ефективною системою охолодження при застосуванні природного холоду є система активного вентилявання.

При проектуванні таких систем необхідно надавати перевагу використанню наземних повітродозподільних каналів, які знаходяться безпосередньо у напілу продукту, а у випадку необхідності використання каналів, які знаходяться під підлогою, передбачати у них зволоження повітря для усування шляхового підігріву від ґрунту.

На основі проведених досліджень запропоновано система зволоження припливного повітря з використанням гідравлических форсунок високого тиску типу Impaction-pin, які встановлюються безпосередньо у повітроводах. Для розпилу 450 л/год витрачається всього лише 1,1 кВт, що складає 3 % витрат енергії установок із пневматичними форсунками.

При розробці проектів плодоовочесховищ з використанням природного холоду слід враховувати, що питомі тепловитрати крізь огорожені сховища взимку порівняні з питомою теплою дихання продукту. Тому при розробці ефективних систем інженерного забезпечення зберігання картоплі, плодів та овочів необхідно передбачати захист штебелів з продуктом, які розташовані біля стін, від підмерзання шляхом використання фізіологічної теплоти, яка повинна відводитися.

Рациональне використання природного холоду та прийняття інженерних рішень з проектування картопле- та плодоовочесховищ на основі наукового обґрунтування дозволять зменшити витрати продуктів на 20...30% енергії – на 25...30 % у галузі АПК України.