

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

**А. Н. Носков, М. Шапошникова**

Особенности работы холодильного винтового компрессора при понижении температуры окружающей среды

При понижении температуры окружающей среды уменьшаются теплопритоки на холодильную машину и давление конденсации, что требует уменьшения холодопроизводительности и геометрической степени сжатия винтового компрессора. Уменьшение давления конденсации ниже определенной величины нарушает устойчивую работу дросселирующих устройств. В статье рассмотрена схема работы холодильной машины с винтовым компрессором и жидкостным насосом перед дросселирующими устройствами, что позволяет работать при пониженном давлении конденсации. Приведены зависимости изменения эффективного КПД, холодопроизводительности, потребляемой мощности и холодильного коэффициента при полной и частичной производительности при совместном регулировании производительности и геометрической степени сжатия. Были использованы экспериментальные и расчетные характеристики винтового компрессора, работающего на хладоне R22.

**Ключевые слова:** винтовой маслозаполненный компрессор, уменьшение температуры конденсации, совместное регулирование холодопроизводительности и геометрической степени сжатия, жидкостный насос перед дросселирующими устройствами.

**В. Л. Юша, Г. И. Чернов, Д. В. Рубцов, С. Л. Терентьев**

Система рекуперации тепловых потерь мобильной компрессорной установки на основе абсорбционной холодильной машины

В работе рассмотрена система рекуперации тепловых потерь компрессорной установки на основе АХМ. Проведён расчёт экономии затрат мощности на привод компрессора в результате использования этой системы. Показано, что экономия энергопотребления составляет 14,86 %. Также проведён параметрический анализ зависимости мощности, потребляемой компрессором, от давления раствора после насоса, концентрации раствора по хладагенту и доли массового расхода флегмы, возвращаемой из дефлегматора в генератор.

**Ключевые слова:** рекуперация тепловых потерь, компрессорная установка, абсорбционная холодильная машина, энергосбережение.

**С. С. Бусаров, В. Л. Юша, Р. Э. Кобыльский**

Экспериментальная оценка эффективности манжетного уплотнения цилиндропоршневой группы длинноходовой компрессорной ступени

В тихоходных компрессорных ступенях цилиндропоршневое уплотнение относится к наиболее ответственным узлам, влияющим на герметичность рабочей камеры. В представленной работе методом статических продувок были определены условные зазоры в манжетном уплотнении тихоходных компрессорных ступеней; проведена сравнительная оценка неплотности цилиндропоршневого уплотнения при различном количестве манжет и различной температуре стенок.

**Ключевые слова:** длинноходовой поршневой компрессор; манжетное уплотнение, условный зазор, утечки газа, герметичность рабочей камеры.

**А. П. Цой, А. В. Бараненко, А. С. Грановский, Д. А. Цой, Д. А. Корецкий, Р. А. Джамашева**

Компьютерное моделирование годового цикла работы комбинированной системы хладоснабжения с использованием ночного радиационного охлаждения

На основе результатов компьютерного моделирования проведена оценка энергоэффективности комбинированной системы хладоснабжения, использующей ночное радиационное охлаждение совместно с холодильной машиной, с аккумулярованием холода без фазового перехода и подачей жидкого теплоносителя (пропиленгликоля) в воздухоохладитель. В системе хладоснабжения, расположенной в городе Костанай (Казахстан), имеются радиаторы (12 м<sup>2</sup>), охлаждающие теплоноситель ночью, а также обычная парокомпрессионная холодильная машина с поршневым компрессором. Система хладоснабжения используется для поддержания температуры воздуха на уровне  $0 \pm 1$  °С в малой холодильной камере (36 м<sup>3</sup>) при низком значении тепловыделений от хранимых продуктов и отсутствии других эксплуатационных теплопритоков. Установлено, что 78,8 дней в год система хладоснабжения может поддерживать требуемую температуру за счет работы радиаторов без включения холодильной машины. При этом достигается экономия 242 кВт·ч электроэнергии. Таким образом, комбинированная система хладоснабжения обеспечивает пониженный на 7,6 % расход электроэнергии, а также позволяет сократить износ компрессора холодильной машины за годовой цикл работы, что должно снизить экономические расходы на эксплуатацию холодильного склада.

**Ключевые слова:** радиационное охлаждение, холодильная техника, естественное охлаждение, аккумулярование холода.

**А. А. Серов, А. В. Цыганков, А. Хилдаяти**

Режимы движения газа в эквивалентном канале регенеративного теплоутилизатора

Рассмотрена модель эквивалентных каналов для теплоаккумулирующей насадки регенеративного теплообменника. Приведены дифференциальные уравнения теплообмена между потоком теплоносителя и поверхностью эквивалентного канала. Предлагается оценивать эффективность теплообмена коэффициентами аккумуляции и регенерации теплоты вентиляционных потоков. Приведены критериальные зависимости для вычисления коэффициента теплоотдачи при ламинарном и переходном режимах движения газа в эквивалентном канале. Представлены результаты расчетного исследования, позволяющие оценить влияния скорости воздуха в канале на эффективность регенеративного теплообменника.

**Ключевые слова:** регенеративный теплообменник, эквивалентный канал, коэффициент теплоотдачи, критериальные зависимости, коэффициент аккумуляции теплоты, турбулентность.

**А. Ю. Усс, А. С. Пугачук, А. В. Чернышев, Ф. Г. Тухбатуллин**

Разработка стенда для визуализации и экспериментального исследования рабочего процесса в вихревом струйном устройстве

Работа посвящена разработке стенда для проведения физического моделирования рабочего процесса и визуализации течения газа в проточной полости вихревого струйного устройства. На основании литературного обзора обнаружен ряд примеров по визуализации рабочего процесса в проточной полости вихревого струйного устройства. Разработанный стенд позволяет проводить физическое моделирование рабочих процессов в проточной полости вихревого струйного устройства с использованием его не полноразмерного макета. С применением критериев подбора разработчик может получить необходимые параметры рабочего процесса в реальном объекте исследования. Также разработанный стенд позволяет исследовать распределение потоков газа в проточной полости вихревого струйного устройства. Исследование процесса течения газа в различных макетах вихревых струйных устройств с помощью разработанного стенда позволит разработчику сделать заключение о влиянии геометрических параметров конструкции на аэродинамику вихревой камеры, а также исследовать течение газа в проточной полости. Стенд рекомендуется использовать как инструмент в методике проектирования вихревых струйных устройств на основе многокритериальной оптимизации геометрических параметров проточной полости на основе метода нулевого порядка (симплексного метода).

**Ключевые слова:** запорно-регулирующие устройства, метод исследования пространства параметров, вихревое струйное устройство, регулятор давления, симплексный метод оптимизации.

**В. С. Евдокимов, Г. И. Чернов, А. А. Гладенко, А. А. Исаев**  
Экспериментальное исследование характеристик термосвай

Статья посвящена экспериментальному исследованию эффективности работы термосвай. Актуальность работы обусловлена широким применением термосвай для стабилизации грунта в зонах вечной мерзлоты с целью предотвращения деформации и разрывов газо- и нефтепроводов. Целью работы является оценка влияния климатических условий и степени повреждения термостабилизатора грунта на эффективность его работы. Экспериментальное исследование показало, что с увеличением скорости обдува и снижением температуры воздуха тепловая мощность термосвай увеличивается. Также было установлено, что повреждение до 30 % рабочей поверхности термосвай приводит к незначительному (до 12 %) снижению её тепловой мощности.

**Ключевые слова:** термостабилизатор грунта, климатическая камера, тепловая мощность термосвай, эффективность термосвай.

**А. А. Гирченко, А. А. Румянцев, А. М. Казанцев, Д. И. Буханец, А. В. Тимошенко, А. А. Мурашов**

Проектирование систем обеспечения температурного режима, воздухообеспечения и фильтрации транспортируемых блок-модулей на основе оценки изменения радиуса устойчивости

В статье представлен подход к формализации процесса создания системы обеспечения температурного режима, воздухообеспечения и фильтрации (СОТРВФ) транспортируемых блок-модулей управления (ТБМУ) комплексов воздушно-космической обороны. Применение линейных графиков для контроля создания СОТРВФ ТБМУ в последнее время показывает свою несостоятельность и требует совершенствования в части способов управления процессами создания таких систем. В качестве основы предлагается применять динамическую теорию графов, которая позволяет учитывать не только ресурсно-временные ограничения, но и возможные изменения в структуре связей последовательностей выполняемых работ по созданию СОТРВФ ТБМУ. В работе показано, что ключевым элементом управления процессом создания СОТРВФ ТБМУ является комплексный моделирующий стенд, с помощью которого можно получать объективные данные о ходе разработки аппаратуры системы. Наличие такой информации позволяет контролировать при помощи сетевой модели процесс создания СОТРВФ ТБМУ на всех стадиях жизненного цикла. Состав и структурная схема такого стенда приведены в статье.

**Ключевые слова:** система обеспечения температурного режима, воздухообеспечения и фильтрации; транспортируемый блок-модуль управления, сетевое планирование, сетевая модель, стенд, испытания.

**О. Ю. Манихин, В. В. Шалай**

Внедрение и оценка эффективности системы предварительной осушки газа при эксплуатации технологического оборудования установки комплексной подготовки газа

С целью повышения эффективности работы абсорбционной осушки установки комплексной подготовки газа при пиковых летних режимах эксплуатации, когда температура осушаемого газа значительно превышает +25 °С, в технологическую схему подготовки внедрена система предварительной осушки. Реализованные технические и технологические доработки как внутренних элементов сепарационного оборудования, так и системы обвязки цеха осушки газа позволили снизить унос капельной влаги из сепарационного и абсорбционного оборудования, а также обеспечить соблюдение действующих стандартов, предъявляемых к товарному газу по ключевому параметру ТТРв, с соблюдением необходимого технологического резерва.

**Ключевые слова:** абсорбционная осушка газа, система предварительной осушки газа, триэтиленгликоль, температура точки росы.

**К. Клоче, Ф. Микус, С. Томас, У. Гессе**

Рекуперация тепловых потерь в поршневом компрессоре = Klotsche K., Micus F., Thomas C., Hesse U. Waste Heat Recovery for Reciprocating Compressors / пер. с англ. М. А. Федоровой

Во многих ведущих отраслях промышленности (нефтехимической, газоперерабатывающей, химической) используются многоступенчатые поршневые компрессоры, особенно при сжатии газа до высокого давления. Газ сжимается в последовательно расположенных ступенях и охлаждается после каждой ступени для того, чтобы снизилась максимальная температура. Неиспользуемое тепло обычно отводится в окружающую среду, а потенциальное — эксергия — теряется. Цель данной статьи — показать, как может быть использован потенциал тепловых потерь поршневого компрессора. С этой целью тепловые потери для каждой ступени выражены количественно для разных сценариев сжатия. На основе этого представлен процесс рекуперации тепловых потерь (WHR) для определенного температурного интервала нагнетаемого (отработанного) газа как источника тепла: в частности, структура, принцип работы и характеристики системы рекуперации тепловых потерь. Показано, что выделяемое тепло может быть использовано для различных целей (нагрев, производство энергии, охлаждение). Потенциал возможных способов рекуперации тепловых потерь можно оценить с помощью приведенного КПД соответствующих процессов преобразования энергии.

**Ключевые слова:** поршневой компрессор, рекуперация тепловых потерь, отопление, термоэлектрический генератор, органический цикл Ренкина, абсорбционный рефрижератор.

**М. Т. Уайт, М. Дж. Рид, А. И. Сайма**

Сравнение одноступенчатых и каскадных систем органического цикла Ренкина с учетом влияния степени объемного расширения на эффективность детандера = White M. T., Read M. G., Sayma A. I. Comparison between single and cascaded organic Rankine cycle systems accounting for the effects of expansion volume ratio on expander performance / пер. с англ. М. А. Федоровой

По сравнению с одноступенчатыми системами органического цикла Ренкина (ORC) каскадные системы ORC, в которых объединены высокотемпературный и низкотемпературный циклы, могут иметь преимущества, с точки зрения реализации процесса конденсации при условиях разряжения и повышения эффективности детандера, поскольку процесс расширения распределен между двумя ступенями. Кроме того, снижение степени объемного расширения позволяет использовать объемные детандеры, такие как двухроторные винтовые, которые, в свою очередь, могут обеспечить двухфазное расширение в одном или обоих циклах. Целью данной работы является сравнение одноступенчатых и каскадных систем ORC с учетом влияния соотношения степени объемного расширения детандера на его мощность. Для исследования этого вопроса разработаны термодинамические модели одноступенчатых и каскадных систем ORC, включающие модели расширителей с переменным КПД как для радиальных турбин, так и для винтовых детандеров, позволяющие оценить влияние степени объемного расширения на адиабатный КПД детандера. Используя эту модель, сравниваются три различных сценария для различных температур тепловых источников, а именно: (i) одноступенчатые системы ORC с расширением пара, полученные с помощью турбодетандера; (ii) одноступенчатые системы ORC, работающие с винтовым детандером, с возможностью двухфазного расширения; и (iii) каскадные циклы с паровым или двухфазным расширением. Результаты этого сравнения используются для того, чтобы определить возможности прикладного использования каскадных систем ORC, которые могут обеспечить большую эффективность.

**Ключевые слова:** одноступенчатый цикл Ренкина, каскадный цикл Ренкина, турбодетандер, винтовой детандер, адиабатный коэффициент полезного действия, оптимизация.

## **АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА**

**Н. В. Вологодский, А. В. Проневич, А. Б. Яковлев**

Экспериментальное исследование циклонных фильтров пневматической системы автоматического управления газотурбинного двигателя для увеличения степени очистки

Проведено экспериментальное исследование циклонных фильтров различных конструкций. Выявлены параметры, позволяющие повысить степень очистки воздуха от пыли: давление воздуха на входе в фильтр, температура рабочего воздуха, а также диаметр жиклера имитатора потребителя очищенного воздуха и диаметр вентиляционного жиклера. Полученные результаты

позволяют повысить надежность работы пневматических агрегатов, уменьшить эрозионный износ их рабочих полостей.

**Ключевые слова:** авиационный двигатель, пневматические системы, сепарация, центробежный пылеуловитель, степень очистки.