

УДК: 536.629.7, 62-97

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ КРИОСТАТИРОВАНИЯ

Н.Е. Волкова¹, М.Г. Воробьев¹, А.В. Петров¹, К.В. Рыбас¹, Т.Н. Соболевская^{1,2},
К.Н. Сухарев¹

(¹Филиал ОАО «Корпорация «Комета» – «НПЦ ОЭКН», Санкт-Петербург;

²Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики)

Научный руководитель – к.т.н. А.Н. Соколов

(Филиал ОАО «Корпорация «Комета» – «НПЦ ОЭКН», Санкт-Петербург)

Двухуровневая система криостатирования предназначена для обеспечения температурного режима фотоприемного устройства научной аппаратуры космического назначения. Одной из основных задач при наземной экспериментальной отработке научной аппаратуры является определение параметров системы криостатирования. Двухуровневая система криостатирования представляет собой криогенно-вакуумную систему, которая включает в себя два контура обеспечения температуры фотоприемного устройства. Основной контур представляет собой теплоаккумулятор, который конструктивно связан с газовой криогенной машиной и предназначен для обеспечения заданной температуры чувствительного элемента фотоприемного устройства. Охранный контур представляет собой теплоаккумулятор, который обеспечивает заданную температуру светофильтра. Принцип действия газовой криогенной машины основан на обратном цикле Стирлинга.

Для моделирования функционирования двухуровневой системы криостатирования использовались технологические жидкостные системы охлаждения. Охранный контур поддерживался в заданном интервале температур с помощью жидкого азота, который прокачивался через технологическую систему охлаждения. Температура тепловыделяющих поверхностей газовой криогенной машины поддерживалась в интервале температур от минус 10 до 30°C технологической жидкостной системой охлаждения. Технологические системы охлаждения имитировали систему обеспечения теплового режима космического аппарата.

Одним из важных параметров при проектировании системы теплового режима космического аппарата является тепловыделение газовой криогенной машины. Для определения мощности тепловыделения компрессора и охладителя газовой криогенной машины были разработаны тепломеры и устройство измерения.

Целью исследования была разработка методики проведения испытаний и определение параметров системы криостатирования.

В работе приводятся описание конструкции тепломеров, результаты и методика экспериментального моделирования двухуровневой системы криостатирования.

АНАЛИЗ ОДНОТАКТНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ MATHCAD

О.О. Иванейчик

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Дорошков

В качестве источников вторичного электропитания, применяемых при автоматизации производственных процессов, широко используются однотактные инверторы напряжения. Они осуществляют преобразование напряжения постоянного тока одной величины в высокочастотное переменное напряжение и далее в постоянное напряжение другой величины. Анализ процессов в однотактных инверторах напряжения достаточно сложен и представляется целесообразным его упрощение путем использования программы MathCad.

Однотактный инвертор напряжения содержит биполярный или полевой транзистор, работающий в ключевом режиме, трансформатор, высокочастотный однополупериодный выпрямитель и схему управления.

Работа инвертора заключается в следующем. При открытии транзисторного ключа ток протекает по первичной обмотке трансформатора и в ней происходит накопление электромагнитной энергии. Ток через выпрямительный диод при этом не течет, поскольку диод включен в обратном направлении. После закрытия транзисторного ключа диод отрывается, и накопленная энергия передается в нагрузку. Изменение времени открытия ключа либо периода следования импульсов управления приводит к изменению величины выходного напряжения инвертора.

В качестве первого этапа анализа рассмотрены процессы в инверторе в предположении отсутствия емкостного фильтра в выпрямителе. Для этого составлена схема замещения, в которой классическим методом проанализированы переходные процессы и получено аналитическое выражение напряжения на нагрузке для одиночного импульса управления транзисторного ключа.

С использованием программы MathCad, найдена форма выходного напряжения и определена его постоянная составляющая. Установлена зависимость выходного напряжения выпрямителя от длительности и периода следования импульсов управления.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В ПРОГРАММЕ ELECTRONICS WORKBENCH.

К.Г. Ивлев

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Дорошков

Делители частоты широко применяются в устройствах автоматики, электроники и радиотехники. При их разработке необходимо физическое или математическое моделирование с целью проверки правильности выбранного технического решения.

Физическое моделирование связано со значительными материальными затратами и занимает продолжительное время. Для проведения физического моделирования необходимо изготовить лабораторный макет спроектированного устройства, разработать испытательный стенд и оснастить его необходимой измерительной аппаратурой.

Для проведения математического моделирования необходим только персональный компьютер и соответствующее программное обеспечение.

Цель работы – моделирование делителей частоты в программе Electronics Workbench на основе двоичных счетчиков и счетчиков с произвольным коэффициентом пересчета.

Двоичные счетчики – обладают коэффициентом счета кратным 2^n (2,4,8,16,32 и т.д.), где n – количество счетных триггеров. Счетчики с произвольным коэффициентом пересчета исключают «лишние» устойчивые состояния двоичных делителей частоты за счет введения обратных связей (посредством использования элементов ТТЛ-логики) и условий сброса в нужный момент времени. Таким образом, можно задать любой коэффициент счета.

В работе приведены примеры моделирования делителей частоты с произвольным целочисленным коэффициентом деления в программе Electronics Workbench на основе JK-триггеров, имеющих асинхронные входы сброса и установки, а так же элементов ТТЛ логики. Моделирование осуществлено как для делителей частоты с последовательным, так и параллельным переносом данных между разрядами.

Достигнутые результаты моделирования иллюстрируются временными диаграммами, полученными с экрана виртуального осциллографа, имеющегося в программе Electronics Workbench.

УДК 532.5

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУБОПРОВОДА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ КРИОГЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Е.В. Логвиненко

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Зайцев

Энергоэффективность процесса транспортирования криогенных жидкостей по трубопроводу определяется рядом факторов, зависящих от режимных и конструктивных параметров.

В процессе течения жидкости по трубопроводу часть механической энергии необратимо превращается в тепловую, что в первую очередь обусловлено гидравлическим сопротивлением. Для оценки изменения давления Δp (Па) по длине магистрали при транспортировании однофазной жидкости возможно применение уравнения Бернулли.

Мощность потерь при этом прямо пропорциональна потерям давления и зависит от расхода транспортируемой жидкости.

Другой важный фактор, который может оказать существенное влияние на оптимизацию энергозатрат при транспортировании – это прогрев жидкости по длине трубопровода. Необходимо исследовать изменение температуры по длине трубопровода в зависимости от начальных параметров и скорости потока.

Для определения температуры продукта в произвольном сечении магистрали для поточной системы можно использовать уравнение энергетического баланса, в котором количество теплоты, подведенное к жидкости из окружающей среды, складывается из изменений энтальпии, кинетической и потенциальной энергий потока.

Мощность энергозатрат на компенсацию перегрева можно вычислить зная величину изменения температуры транспортируемой жидкости по длине трубопровода.

В соответствии с представленной укрупненной математической моделью **цель работы** может быть сформулирована следующим образом:

- минимизация затрат энергии на прокачивание заданного количества жидкости за заданное время на заданное расстояние;
- минимизация затрат энергии на предварительное переохлаждение жидкости с целью исключения ее вскипания из-за теплопритоков извне и падения давления, сопровождающееся смещением температуры насыщения (вскипания) в область более низких температур.

При решении данных задачи следует учитывать зависимость теплофизических свойств веществ от температуры и давления в любом сечении трубопровода. Поэтому расчетный алгоритм основан на разбивке всего трубопровода на элементарные участки,

последовательный расчет всех участков и при необходимости итеративный повтор. Длина рассчитываемого трубопровода может достигать десятков тысяч метров. Также возможно варьирование давления и температуры на входе, диаметра и толщины изоляции, поверхностной плотности теплопритоков, типа криогенных жидкостей, в том числе состава смеси сжиженного природного газа.

Целевой минимизируемой функцией является сумма энергозатрат (на компенсацию потерь давления и перегрева). Другие критерии качества – производительность (расход), длина трубопровода, стоимость, материалоемкость – могут использоваться как заданные ограничения при оптимизационных расчетах. Кроме того, вычисляемыми ограничениями являются достижение жидкостью состояния закипания и уменьшение давления на выходе ниже заданного значения.

УДК 621.575

КОМБИНИРОВАННЫЙ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОР НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РАБОЧИХ ТЕЛАХ

О.С. Малинина

В настоящее время остро стоит проблема сокращения выбросов, разрушающих озоновый слой и образующих парниковый эффект. Такие выбросы имеют место в холодильных машинах и тепловых насосах. В комбинированном термотрансформаторе совмещаются функции холодильной машины и теплового насоса. Поэтому поиск альтернативных рабочих тел, исключая вышесказанный отрицательный эффект является актуальным.

В работе рассмотрен комбинированный термотрансформатор для одновременного хладо- и теплоснабжения малых предприятий (молочные фермы, предприятия общественного питания и т.п.), удаленных от систем центрального теплоснабжения и крупнотоннажных производств (мясокомбинаты, химические производства и т.п.).

Альтернативными рабочими телами для данного термотрансформатора были выбраны следующие хладагенты: R134a, R717, R407C, R410A и R600a.

Данные хладагенты озонобезопасны. Близки к бивалентности R717 и R600a, однако, их основными недостатками являются токсичность и взрывоопасность.

Рассматривались два варианта комбинированных термотрансформаторов: одноступенчатый (температура кипения -10°C , температура конденсации $+50^{\circ}\text{C}$) и двухступенчатый (температура кипения -25°C , температура конденсации $+70^{\circ}\text{C}$).

Представлены схемы и циклы предложенных комбинированных термотрансформаторов. В схемах перед конденсатором установлен форконденсатор, теплота от которого отводится в систему горячего водоснабжения. Приведена методика расчетов, особенностью которой является определение процентного соотношения теплового потока перегрева, отводимого в систему горячего водоснабжения, к удельному тепловому потоку конденсатора.

В результате проведенных расчетов оказалось, что по эксплуатационным показателям, наибольшей удельной объемной холодопроизводительности, процентному соотношению потоков, степени повышения давления и максимально допустимому давлению конденсации в общепромышленных поршневых холодильных машинах, для малых предприятий можно рекомендовать хладагенты R134a и R410A, а для крупнотоннажных – R134a и R600a. Однако, при работе на последнем хладагенте, необходимо предусмотреть соблюдение всех правил пожарной безопасности.

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ХЛАДАГЕНТОВ В ТРУБАХ И КАНАЛАХ

А.В. Потанина, С.И. Прошин

Научный руководитель – к.т.н., профессор А.А. Малышев

Теплообменные аппараты холодильных машин и тепловых насосов достигают 70% и выше по массогабаритным характеристикам. Так же примерно 70% составляют необратимые потери в испарителях и конденсаторах. Таким образом, проблемы энергосбережения низкпотенциальной техники напрямую связаны с оптимизацией капитальных и эксплуатационных затрат в теплообменных аппаратах.

Математическая модель теплообмена при кипении в современных конструкциях испарителей (с кипением на пучке труб, внутри труб и в вертикальных щелевых каналах) может быть представлена в виде внутриканального кипения. При этом общий поток отводимой теплоты складывается из трех составляющих: теплоты парообразования на поверхности, конвективного теплообмена в жидкой фазе и теплоты отводимой испарением из жидкой пленки в паровое ядро. Вклад каждой составляющей различен и непостоянен в зависимости от начальной скорости, физических свойств, паросодержания и геометрических параметров. Известны два подхода к расчету теплообмена при кипении в каналах.

Наиболее известными для расчета средних коэффициентов по длине канала являются эмпирические зависимости. Единственное их преимущество – простота в использовании, но применение строго ограничено условиями проведенных экспериментов.

Подход основан на расчете локальных коэффициентов теплоотдачи в зависимости от массового расходного паросодержания. Он в большей степени отражает гидродинамическую картину течения двухфазного потока. Анализ результатов наиболее известных расчетных зависимостей локальной теплоотдачи показывает, что итоги расчета в целом дают удовлетворительное согласование, а численные значения коэффициентов теплоотдачи расходятся от 100 до 50%.

Авторами установлено, что главной причиной несовершенства известных зависимостей для расчета локальной теплоотдачи является использование расходных гидродинамических параметров: массового объемного паросодержания, скорости смеси и др. Расходные параметры определяются на основе теплового баланса и имеют физический смысл только при определенных значениях заданных условий. В иных случаях расчеты приводят к значительной погрешности и даже к абсурдным результатам.

Авторами предложена методология расчета локальных коэффициентов теплоотдачи при кипении хладагентов в горизонтальных трубах, основанная на экспериментах проведенных на R12 и R22 при $t_0 = (-10) - (-20)^\circ\text{C}$ по $d_0 = (6 - 10)$ мм. В расчетной методике использовались истинные параметры, учитывающие скольжение фаз.

Важнейшим направлением работы является исследование процессов кипения в мини- и микроканалах. Оно является одним из самых перспективных в мире. Авторами проведен структурный обзор и спроектирован экспериментальный стенд по изучению процессов в мини- и микроканалах.

Основные результаты работы:

- установлено, что повышение эффективности и разработка перспективных конструкций испарителей низкотемпературных термотрансформаторов может производиться с использованием математических моделей на основе истинных параметров двухфазных потоков;
- одними из наиболее перспективных испарителей термотрансформаторов являются испарители с мини- и микроканалами.