

На правах рукописи



Гуиди Тоньон Клотильде

Анализ эффективности промышленных аммиачных холодильных систем на основе экспериментального исследования и термодинамического метода

Специальность 05.04.03. – Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'G. Guidi' or similar, written in a cursive style.

Санкт-Петербург 2010

25 MAR 2010

Работа выполнена в ФГОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Л.В. Галимова

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
В.И.Пекарев
кандидат технических наук
А.О.Цимбалист


Ведущая организация – Государственное предприятие Астраханской области
«Астраханский Региональный центр энергосбережения»

Защита состоится 14 апреля 2010 года в 14 часов на заседании
диссертационного Совета Д.212.234.01 в Санкт- Петербургском
государственном университете низкотемпературных и пищевых технологий по
адресу 191002, Санкт- Петербург, ул. Ломоносова, д.9, СПбГУНиПТ, тел/факс
(812) 315.30.15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 9 марта 2010года.

Учёный секретарь диссертационного Совета:
Доктор технических, профессор

 В.А.Рыков

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Научно обоснованный анализ всей последовательности энергетических превращений в промышленности, сельском хозяйстве, транспорте и в быту является важным фактором для успешного проведения активной энергосберегающей политики.

Существующие методы термодинамического анализа: основополагающий энтропийный и его модификация — эксергетический позволяют определять теоретические значения энергетических потерь вследствие «производства энтропии» в различных узлах низкотемпературных и высокотемпературных установок. Резервом энергосбережения является анализ, проводимый с учётом накопленной информации о реальном термодинамическом совершенстве промышленных тепло- и хладоэнергетических систем.

Процессы, происходящие в холодильных установках, как и все реальные процессы, сопровождаются потерями вследствие необратимости. В связи с этим существует необходимость в методе, позволяющем не только устанавливать потери, но и определять КПД установки в целом и отдельных процессов в частности. Однако применение эксергетических методик в практике энергоснабжения и энергоиспользования ещё недостаточно. В настоящее время не полно проработан аппарат, позволяющий без сложных вычислений получить результаты оценки работы технической системы, выводящий на конкретные рекомендации.

Накопленный материал, полученный на основе испытаний и моделирования холодильных установок различного назначения, позволяет сделать выводы по оценке энергоэффективности действующих предприятий.

Цель и задачи исследования. Целью проводимых исследований является разработка научно обоснованной методики термодинамической оценки работы одноступенчатых холодильных аммиачных установок различного назначения.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- изучение современного состояния вопроса о применении термодинамического метода анализа для оценки эффективности технических систем;
- выбор объектов исследования, описание исследуемых холодильных систем, их назначения и состава;
- экспериментальное исследование, разработка и реализация модели лабораторной экспериментальной холодильной машины кафедры холодильных машин Астраханского государственного технического университета (АГТУ). Численный эксперимент с использованием разработанной программы;
- уточнение модели и программы на основе производственного эксперимента на промышленной холодильной установке;

- приложение разработанной методики к исследованию эффективности работы аммиачной холодильной установки льдогенератора портового холодильника Республики Бенин. Разработка комплексной программы эксергетического анализа холодильных установок различного назначения;

- анализ результатов исследования, выработка предложений по условиям эксплуатации холодильных установок.

Актуальность работы. Создание надёжной, удобной для использования в производственных условиях методики оценки энергоэффективности промышленных холодильных установок является актуальной проблемой холодильной техники. Количественная оценка термодинамических потерь при проведении процессов в элементах и системе в целом, рекомендации по устранению потерь, способствующие решению задач энергосбережения, определяют актуальность темы исследования.

Научная новизна. Впервые разработаны модель и комплексная программа эксергетического анализа промышленных аммиачных холодильных установок различного назначения. Обобщение и анализ результатов исследования позволили заключить, что термодинамический анализ технических систем вносит вклад в решение проблем энергосбережения энергоёмких промышленных предприятий.

Практическая ценность. Полученная на основании экспериментального исследования и моделирования одноступенчатых холодильных установок комплексная программа эксергетического анализа используется для обследования промышленных холодильных систем и в учебном процессе при подготовке магистров по направлению «Энергомашиностроение», специалистов - холодильщиков.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на IV Международной конференции "Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке", Санкт-Петербург, ноябрь 2009г; 2eme colloque des sciences, cultures et technologies de 'UAC, BENIN. 2009. du 26 au 29 mai; Lome (Togo). 2008; Научно-практических конференциях преподавателей и сотрудников Астраханского государственного технического университета, 2007,2009 г.г.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 7 печатных трудах, в том числе одна статья в журнале по списку, рекомендованному ВАК, получено Свидетельство о государственной регистрации комплексной программы эксергетического анализа для ЭВМ.

Объём и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложений и содержит 94 страницы основного машинописного текста, 46 рисунков, 2 таблицы, 48 страницы приложений. Список использованной литературы включает 100 наименований работ, из них 66 российских и 34 иностранных.

Краткое содержание работы

Исследованиями в области оценки эффективности технических систем на основе термодинамического метода анализа занимались такие учёные как А.М. Архаров, В.М.Бродянский, В. Фратшер, К. Михалец, В.С.Мартыновский,

П.В. Калинин, Д.П. Гохштейн, А.М. Андрущенко, И.Л. Лейтес, Л.С. Тимофеевский, Л.Е. Медовар, Т.В. Морозюк, Л.И. Морозюк, А. К. Ильин, Л.В. Галимова и др. Их работы положены в основу созданной методики.

1. Объекты и методы исследования

Объектами данного исследования были три холодильные установки различного назначения.

Экспериментальная аммиачная одноступенчатая холодильная установка кафедры холодильных машин обеспечивает холодом системы непосредственного и рассольного охлаждения, обслуживающие ряд потребителей (охлаждаемая камера, льдогенератор, батарея рассольного охлаждения). Диапазон изменения температуры кипения от -25 до $+5^{\circ}\text{C}$ при температуре охлаждающей воды от 4 до 30°C .

При испытании холодильной машины работали: компрессорно-конденсаторный агрегат АК-АВ22/11, охлаждаемый объект, пульт управления ПУМ-100.

Рабочими параметрами были: давление конденсации, давление кипения, температуры нагнетания, перегрева холодильного агента, охлаждающей воды на входе и выходе из конденсатора, расход воды, температура наружного воздуха, воздуха в лаборатории, диаметр и длина обечайки конденсатора, коэффициент теплоотдачи от поверхности конденсатора к воздуху лаборатории, мощность электродвигателя.

Холодильная установка маслосирбазы «Астраханская» предназначена для низкотемпературного хранения продукции молочного производства.

Холодильник оснащен аммиачной холодильной установкой непосредственного и рассольного охлаждения. Расчётные температуры воздуха в охлаждаемых помещениях составляют минус 5 и 0°C при одной и той же температуре кипения минус 15°C . Холодильник выполнен по типовому проекту.

Холодильная установка льдогенератора портового холодильника Республики Бенин предназначена для получения плиточного льда и обеспечения им судов рыбного порта.

Особенностью холодильной установки является наличие дополнительного (повторного) теплообменника – испарителя, установленного на линии между основным испарителем-льдогенератором и компрессором. Он обеспечивает сухой ход компрессора при работе в режиме оттайки льдогенератора и предварительное охлаждение оборотной воды.

Конденсатор, компрессор, маслоохладитель охлаждаются водой, проходящей через змеевик вентиляционной градирни, наличие которого создаёт замкнутый контур её циркуляции и чистоту теплообменной поверхности. Для охлаждения змеевика градирни используется холодная артезианская вода.

Методика проведения исследования объектов была построена на основе поэтапного решения задач. На первом этапе было проведено экспериментальное исследование и энергетический анализ цикла лабораторной одноступенчатой холодильной машины, результатом чего стали математическая модель и численный эксперимент с использованием разработанной программы.

С учётом особенностей эксплуатации промышленных холодильных установок на втором и третьем этапах работы при проведении промышленного эксперимента были внесены коррективы в разработанную ранее модель. В дальнейшем анализ проводили по удельным показателям.

В результате была получена комплексная модель, которая позволяет проводить эксергетический анализ одноступенчатых аммиачных холодильных установок различного назначения, получать и анализировать эксергетические показатели эффективности их работы. Комплексная программа имеет Свидетельство о государственной регистрации

Исходными данными для анализа были рабочие параметры, запесённые в суточные журналы холодильных установок. Для измерения параметров использовались технические приборы, оценку погрешности измерений вели в соответствии с ГОСТ.

2. Моделирование исследуемых холодильных систем.

Холодильная установка в целом относится к объектам, для которых характерна сложность структуры и стохастичность связей между элементами, неоднозначность алгоритмов поведения при различных условиях, большое количество параметров и переменных, разнообразие и вероятностный характер воздействия окружающей среды.

Для создания моделей было использовано математическое и реальное моделирование в виде физического и натурного. Физическое моделирование (активный эксперимент) проведено на экспериментальной лабораторной установке, с помощью натурного моделирования проведено исследование на промышленных объектах в виде производственного (пассивного) эксперимента. В основу разрабатываемой модели были положены методики теплового и эксергетического расчёта одноступенчатой аммиачной холодильной машины. Элемент блок-схемы и алгоритма программы приведены на рис. 1.

Блок «полученные зависимости» включает в себя формулы, отражающие основные зависимости термодинамических свойств аммиака от рабочих параметров в интервале их изменения, характерном для работы одноступенчатых холодильных машин различного назначения:

$$t_k = -14.927 * P_k^2 + 63.984 * P_k - 24.026 \quad (1)$$

$$t_0 = -214.68 * P_0^2 + 220.36 * P_0 - 52.811 \quad (2)$$

$$h_1 = -0.801 * t_0 + 2.33 * t_{ne} + 1466 \quad (3)$$

$$h_1' = 1.279 * t_0 + 1460 \quad (4)$$

$$h_2 = -2.131 * t_k + 2.968 * t_2 + 1455 \quad (5)$$

$$h_3 = h_4 = 4.475 * t_k + 201.964 \quad (6)$$

$$s_1 = -0.023 * t_0 + 0.008852 * t_{ne} + 5.632 \quad (7)$$

$$s_2 = -0.015 * t_k + 0.007228 * t_2 + 5.633 \quad (8)$$

$$s_3 = 0.015 * t_k + 0.944 \quad (9)$$

$$s_4 = 0.018 * t_k + 1.012 \quad (10)$$

«Вспомогательные формулы» - это зависимость для определения потери тепла конденсации через обечайку конденсатора:

$$\Delta Q_k \approx \alpha_{\text{лаб}} \pi D_{\text{об.кон.}} L_{\text{кон.}} (t_k - t_{\text{нб}}). \quad (11)$$

Предварительно было установлено, что эта потеря находится в пределах ошибки измерения параметров и проведения расчётов.

Программа разработана на языке Visual Basic. С использованием разработанной программы был проведен численный эксперимент. Результаты численного эксперимента представлены в виде интерфейсов.

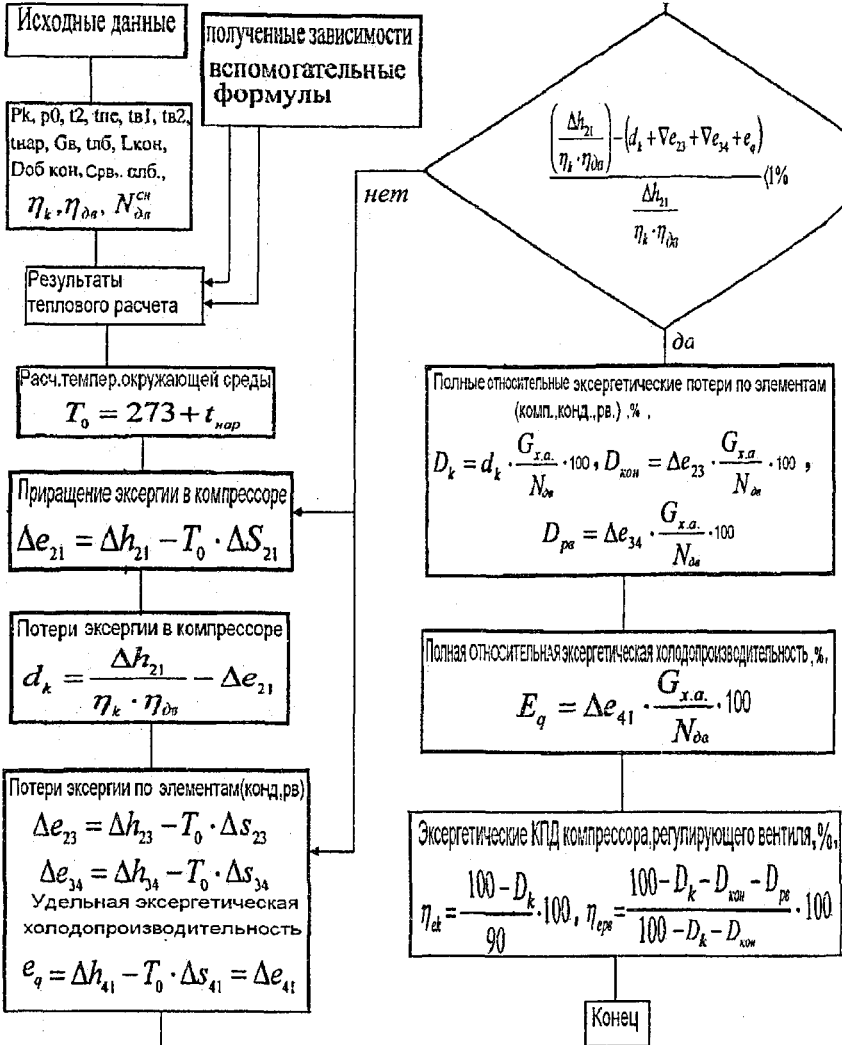


Рис.1.Элемент блок-схемы и алгоритма программы эсэнергетического анализа лабораторной экспериментальной холодильной установки.

Определение адекватности разработанной программы проводили путем сравнения результатов численного эксперимента и расчетов по методике. Расхождение в результатах расчётов находится в пределах 5%.

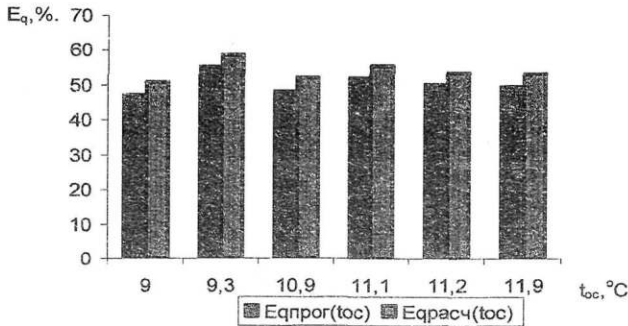


Рис. 2. Проверка адекватности программы

3. Результаты исследования и их обсуждение

На основе результатов численного эксперимента были построены диаграммы потоков и потерь эксергии в элементах и холодильной системе в целом.

Диаграмма потоков и потерь эксергии позволяет наглядно судить о степени участия каждого элемента холодильной машины в потере вводимой эксергии и о величине эксергетической холодопроизводительности.

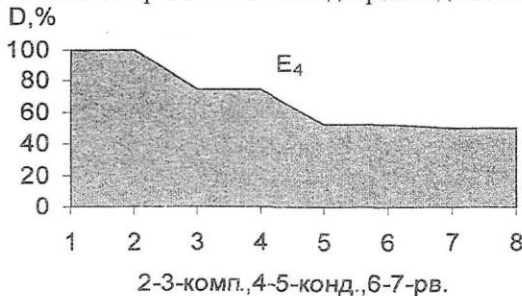


Рис.3. Диаграмма потоков и потерь эксергии для лабораторной экспериментальной холодильной установки (25.10.07)

Наибольшие эксергетические потери характерны для компрессора, далее идёт конденсатор, самые малые потери в регулирующем вентиле.

С целью выявления причин эксергетических потерь был проведён анализ эксергетических зависимостей по элементам от основных рабочих параметров и далее приведены наиболее важные результаты по всем исследуемым объектам. Наиболее полное представление имеет результат по установке маслосырбазы «Астраханская».

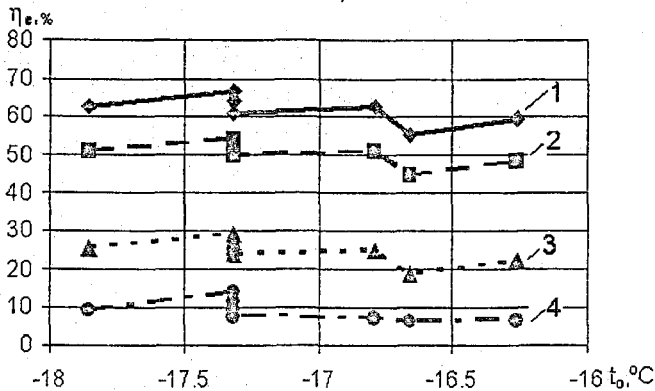


Рис.4. Зависимости эксергетических КПД цикла холодильной машины, систем непосредственного и рассольного охлаждения от температуры кипения:

- 1- эксергетический КПД цикла;
- 2- действительная эксергетическая холодопроизводительность цикла;
- 3- эксергетическая холодопроизводительность системы непосредственного охлаждения;
- 4- эксергетическая холодопроизводительность системы рассольного охлаждения.

В соответствии с назначением холодильной установки при эксергетическом анализе проводились исследования цикла холодильной машины, систем непосредственного и рассольного охлаждения. Изменения эксергетических характеристик перечисленных объектов в зависимости от температуры кипения приведены на рис.4.

Графики зависимостей, также как для экспериментальной установки, имеют вид ломанных линий. Анализ результатов наблюдений показал, что на изломы влияет изменяющаяся температура конденсации и в большей степени температура нагнетания, которая в разное время достигала величины 160°C . Значение эксергетической холодопроизводительности цикла соответствует приведённому в литературе и характеризует стабильность работы холодильной машины. Основной же особенностью установки в целом являются низкие значения эксергетической холодопроизводительности систем непосредственного и рассольного охлаждения.

Анализ работы элементов вели по ходу процессов преобразования энергии.

При обработке результатов исследования компрессора лабораторной экспериментальной установки была решена задача по определению минимальных эксергетических потерь в поршневом прямооточном компрессоре в режимах, приближенных к адиабатному процессу сжатия пара. Зависимость эксергетических потерь от температуры кипения представлена в виде номограммы (рис.5). Потери в 8% и 16% характерны для режимов, когда при подаче холодной воды в рубашку компрессора температура нагнетания оказалась ниже адиабатной. Эти режимы работы не были учтены при определении среднего значения. Таким образом, среднее значение

эксергетических потерь в прямооточном компрессоре определяется величиной 24%. Эту величину потерь можно считать минимальной.

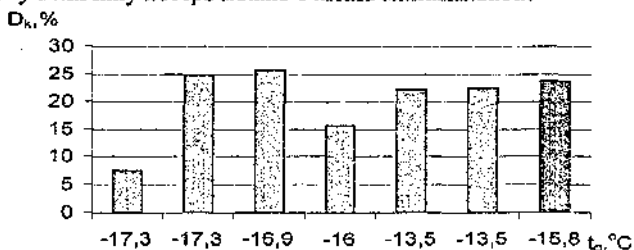


Рис.5. Зависимость потерь в компрессоре от температуры кипения

Охлаждение рубашки компрессора холодной водой проявилось в работе холодильной установки льдогенератора, где эксергетический КПД компрессора составил более 90%.

Одним из параметров, влияющих на работу компрессора и конденсатора, является температура нагнетания. При повышении температуры нагнетания КПД компрессоров всех установок снижается, что является закономерным.

При определении зависимости потерь в конденсаторе от температуры нагнетания было выявлено противоречие. Характер зависимостей для холодильных установок лабораторной и маслосырбазы «Астраханская» имеет вид, обратный предполагаемому, т.е. с повышением температуры нагнетания потери эксергии от пара к охлаждающей воде немного снижаются. Этот факт имеет следующее объяснение. Наибольшая часть потерь в конденсаторе связана с охлаждением аммиака от температуры нагнетания до температуры конденсации. Если теплообменная поверхность конденсатора покрыта слоем водяного камня, это уменьшает эффективность теплопередачи от пара к воде. Тепло от пара в процессе сбива перегрева частично передается через наружную поверхность конденсатора к окружающей среде и эксергия пара снижается. При повышенном значении температуры нагнетания этот процесс более заметен. Наличие загрязнений на теплообменной поверхности вертикального конденсатора подтверждено визуально. На чистой поверхности конденсатора зависимость является закономерной (рис.6).

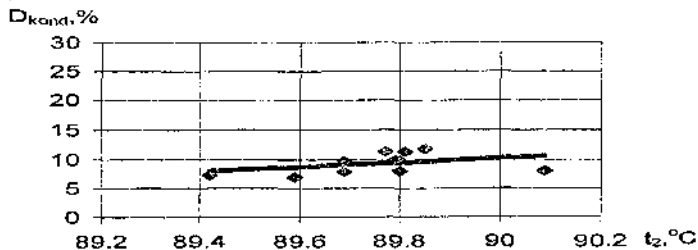


Рис.6. Зависимость эксергетических потерь в конденсаторе от температуры нагнетания для холодильной установки льдогенератора

Эффект охлаждения при расширении рабочего тела целесообразно оценивать с термодинамических позиций по возрастанию термической составляющей эксергии. Разность температур, созданная при дросселировании, используется для получения работы, численно равной эксергетической холодопроизводительности. Значение эксергетического КПД процесса дросселирования определяли в зависимости от степени сжатия. Характер изменения КПД для холодильной установки маслосырбазы «Астраханская» представлен на рис.7.

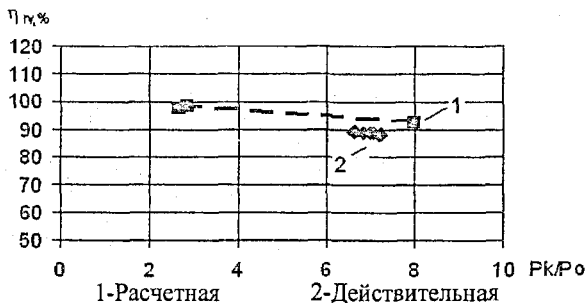


Рис.7. Зависимость эксергетического КПД процесса дросселирования в регулирующем вентиле от степени сжатия.

Характер полученной зависимости совпадает с приведённым в литературе. Небольшое снижение величины КПД в полученном интервале отношений давлений объясняется загрязнением системы. Для двух других исследуемых установок наблюдается практически полное совпадение линий.

Для оценки работы охлаждающих приборов был проведён анализ всех систем, представленных в исследуемых объектах. На рис.8. приведена зависимость эксергетического КПД рассольного испарителя холодильной установки маслосырбазы от средней разности температур рассола и кипения.

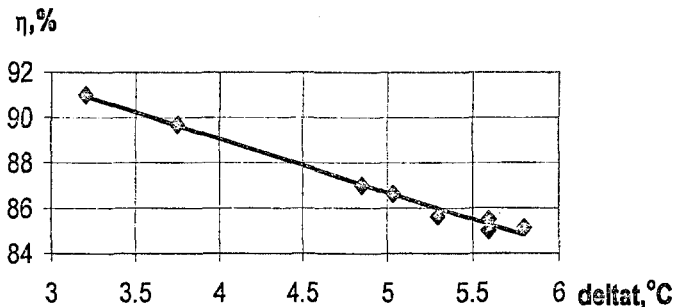


Рис.8. Зависимость эксергетического КПД рассольного испарителя от температурного напора.

При повышении температурного напора наблюдается снижение величины КПД. Среднее значение КПД составляет 87% при изменении температурного напора в интервале 3...6 °С. Для оптимального значения температурного напора КПД должен иметь значение 95%, потери эксергии в рассольном испарителе при этом составляют 5%. Увеличение в 2,5 раза значения эксергетических потерь характеризует испаритель с загрязнённой поверхностью теплообмена.

Значительное снижение эксергетического КПД происходит в охлаждаемых камерах. При оценке эффективности охлаждаемых камер за параметр была принята безразмерная температура, равная отношению температур камеры и окружающей среды. Зависимость эксергетического КПД камеры непосредственного охлаждения от безразмерной температуры представлена на рис. 9.

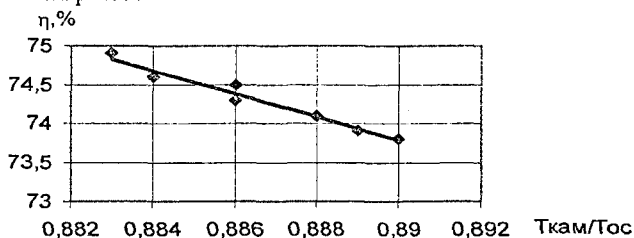


Рис.9. Зависимость эксергетического КПД камеры непосредственного охлаждения от безразмерной температуры .

Снижение значения эксергетического КПД при повышении безразмерной температуры камеры объясняется увеличением конечных разностей температур.

В камерах непосредственного охлаждения среднее значение КПД составляет примерно 74,5%. Эта величина характерна для перепада температур 10 градусов. Высокая разность между температурами в камере и кипения холодильного агента объясняется неудовлетворительным состоянием изоляции.

Зависимость эксергетического КПД камеры рассольного охлаждения от безразмерной температуры камеры имеет подобный вид с интервалом изменения КПД от 73 до 70,5%.

Пониженное значение КПД рассольной камеры объясняется влиянием загрязнённого испарителя, плохой изоляции рассольных трубопроводов и камер.

Суммарное влияние потерь в элементах холодильной установки приводит к невысоким показателям её работы в целом. Так, эксергетическая холодопроизводительность системы непосредственного охлаждения составляет 25%, а рассольного — 10%.

При определении эксергетического КПД льдогенератора температуру плиты льда определяли как среднюю между температурами воды и кипения. Как видно из графика, среднее значение эксергетического КПД составляет

67%, что вполне удовлетворительно для льдогенератора периодического действия.

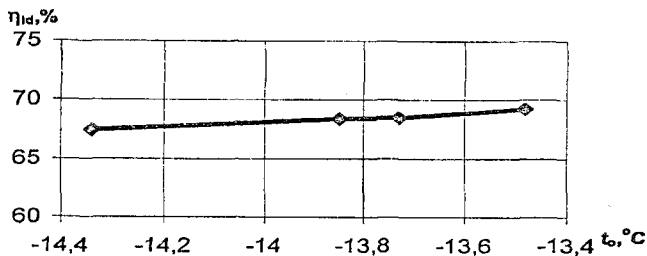


Рис.10.Зависимость эксергетического КПД льдогенератора от температуры кипения

4.Эксергетический анализ промышленных загрязнённых теплообменных аппаратов аммиачных холодильных установок.

Как было предположено ранее, на величину эксергетических потерь системы влияет загрязнение поверхности теплообменных аппаратов.

При моделировании работы промышленного загрязненного конденсатора определяли зависимость коэффициента загрязнения от температуры конденсации и потерь эксергии для различных конденсаторов. Расчеты вели по математической модели холодильной установки с использованием универсального математического пакета Math Cad 14.

Коэффициент загрязнения поверхности конденсатора определяли по основному уравнению теплопередачи.

При моделировании системы предложено теоретическое определение температуры охлаждающей воды по температуре мокрого термометра:

$$t_{\text{мт}} = (-6,14 + 0,651h) / (1 + 0,0097h - 3,12 \cdot 10^{-6} h^2) \quad (12)$$

Значения температуры конденсации и потерь эксергии в конденсаторах выбирали из данных интерфейсов для каждой исследуемой установки. В результате обработки получена следующая зависимость, $\text{м}^2/\text{КВт}$,

$$K = -1,971 \cdot 10^{-3} + 7,398 \cdot 10^{-5} t_k + 7,398 \cdot 10^{-5} \Delta e, \quad (13)$$

где K – коэффициент загрязнения, равный термическому сопротивлению загрязнённой стенки для различных конденсаторов.

В соответствии с полученной зависимостью были проведены расчёты по определению коэффициента загрязнения конденсаторов от температуры конденсации и величины эксергетических потерь для исследуемых установок. При этом получены следующие усреднённые значения:

- 1.Холодильная экспериментальная лабораторная установка- $58 \cdot 10^{-4}, (\text{м}^2 \text{К})/\text{Вт}$;
- 2.Холодильная установка маслосырбазы- $80 \cdot 10^{-4}, (\text{м}^2 \text{К})/\text{Вт}$;
- 3.Холодильная установка льдогенератора Республики Бенин- $40 \cdot 10^{-4}, (\text{м}^2 \text{К})/\text{Вт}$

Сравнение величин с величиной $44 \cdot 10^{-4}$ ($\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$). На основании исследования сделан вывод, что наиболее чистой является поверхность конденсатора установки портового льдогенератора Республики Бенин, загрязнение средней степени в конденсаторе установки лаборатории АГТУ, сильное загрязнение конденсаторных трубок в конденсаторе установки маслосырбазы «Астраханская».

В работе приведены коэффициенты коррекции рабочих характеристик холодильной установки при различных значениях коэффициента загрязнения, на основании которых можно сделать вывод об изменении показателей её работы.

При анализе работы испарителей и камерных охлаждающих батарей исходили из того, что понижение эффективности работы испарителя связано с уменьшением коэффициента теплопередачи в случае недостатка хладагента или скопления масла, увеличения слоя снеговой шубы, нарушения работы вентиляторов воздухоохлаждателей. Ухудшение теплопередачи испарителей для охлаждения хладоносителя происходит при загрязнении их поверхности, выпадении «двойной соли», коррозии поверхности, обмерзания панелей, нарушении циркуляции хладоносителя в испарителе вследствие неисправности мешалки.

Целью проведения анализа промышленных испарителей и камерных охлаждающих приборов было получение зависимости эксергетического КПД от рабочих параметров, сравнение их величины с максимальным значением эксергетического КПД, соответствующим нижнему значению оптимального температурного перепада, и заключение о состоянии теплообменной поверхности.

В результате обработки опытных данных были получены следующие зависимости, %,

Установка маслосырбазы:

1. Рассольный испаритель –

$$\eta_e = 0,886 t_0 - 0,490 t_{\text{расс}} + 96,271 \quad (14)$$

2. Батарей непосредственного охлаждения –

$$\eta_e = 69,339 - 0,203 (t_0 + t_{\text{кам}}) \quad (15)$$

3. Рассольные батареи –

$$\eta_e = -0,017 t_0 - 0,545 t_{\text{кам}} + 70,022 \quad (16)$$

Установка льдогенератора:

$$\eta_e = 3,601 t_0 - 1,984 t_{\text{льда}} + 113,423 \quad (17)$$

Заключение о состоянии поверхности делали по аналогии с конденсатором и на основе наблюдений.

Величину расчётной эксергетической потери для каждого аппарата можно определить с использованием комплексной программы, либо оценить по формуле:

$$D = 1 - ((T_1 - T_{\text{ос}}) / T_1 T_2 / (T_2 - T_{\text{ос}})), \quad (18)$$

где T_1, T_2 - значения температуры потоков для каждой исследуемой системы.

В результате сравнения установлено, что средние значения эксергетических потерь в приборах охлаждения отличаются от расчётных на, %,

Рассольный испаритель.....	53,8
Охлаждающая батарея системы непосредственного охлаждения.....	61,5
Охлаждающая батарея системы рассольного охлаждения.....	42,5
Испаритель льдогенератора.....	19,6

Заключение - рассольный испаритель и камерные охлаждающие приборы холодильной установки маслосырбазы «Астраханская» находятся в неудовлетворительном состоянии. Требуется принятие комплекса мер по устранению недостатков. Испаритель льдогенератора работает удовлетворительно.

Используя полученные зависимости эксергетического КПД от рабочих параметров, можно определить состояние охлаждающей системы в любое выбранное время, а, проведя сравнение с расчётным значением, сделать заключение о принятии необходимых мер (добавлении в систему аммиака, снятии снеговой шубы, очистке приборов от коррозии и т.д.)

Основные результаты и выводы.

Обобщение и анализ результатов исследования позволили заключить, что термодинамический анализ технических систем вносит вклад в решение проблем энергосбережения энергоёмких промышленных предприятий.

1. Современное состояние вопроса о проведении термодинамического анализа для оценки эффективности работы промышленных предприятий определило актуальность проблемы и возможность внедрения его в холодильную технику.

2. Разработанная методика определения основных эксергетических показателей работы элементов и в целом холодильных установок различного назначения даёт возможность оценить эффективность их работы, выявить особенности и наметить пути устранения недостатков.

3. Разработанная математическая модель даёт возможность анализировать состояние технической системы в любое пущное время и при наличии коммутатора вести оперативный анализ.

4. Выбор режима эксплуатации зависит от внешних условий и стоимостных показателей. Так на маслосырбазе «Астраханская» из-за высокой стоимости городской воды вынужденной оказалась работа с повышенной температурой нагнетания (до 160°С), что ведёт к снижению эксергетических показателей. Рекомендовано предусмотреть параллельную линию водоснабжения для охлаждения компрессоров с подключением её в случае острой необходимости.

5. На холодильной установке льдогенератора портового холодильника Республики Бенин предусмотрена эксплуатация с интесивным охлаждением компрессора при высоком перегреве пара перед компрессором. Это даёт возможность получить пониженную температуру пара перед конденсатором, автоматически защитить компрессор от влажного хода и получить высокие эксергетические показатели работы системы.

6. На величину эксергетической холодопроизводительности систем большое влияние оказывает состояние оборудования и предприятия в целом. Так при плохом состоянии изоляции помещений, аммиачных и рассольных трубопроводов эксергетический КПД системы непосредственного охлаждения холодильника маслосырбазы составляет 25%, а системы рассольного охлаждения - 10%.
7. Эксергетические потери в конденсаторах зависят от чистоты теплообменной поверхности.
8. Эксергетические потери в испарителе и камерных охлаждающих приборах позволяют судить о качестве их эксплуатации.
9. По каждому промышленному предприятию результаты анализа обсуждались с администрацией, получены акты внедрения в производство.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Галимова Л.В., Гуиди Т. Клотильде, Лазаренко О.О. Программа для эксергетического анализа промышленных холодильных систем / Свид. о гос. регистрации программ на ЭВМ №2008614758. 3.10.2008.
2. Галимова Л.В., Камнев А.А., Лазаренко О.О., Гуиди Т.К. Моделирование и эксергетический анализ одноступенчатой аммиачной экспериментальной холодильной машины // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2008. №2. С. 114-122.
3. Galimova L. V., Guidi T.C. Détermination des pertes minimales exergetiques d'un compresseur d'une machine frigorifique expérimentale d'essai // journal de la recherché scientifique de l universite de. Lome (Togo). 2008.vol.10. №1 p.1-10.
4. Galimova L.V., Guidi T.C. Détermination des pertes minimales exergetiques d'un compresseur d'une machine frigorifique expérimentale d'essai //Journées scientifiques internationales de Lomé XIII édition. Résumé. Lome (Togo). 2008. p. 235.
5. Guidi T.C., Galimova L.V. Analyse thermodynamique des installations frigorifiques industrielles // 2eme colloque des sciences, cultures et technologies de 'UAC . résumés-abstracts. BENIN. 2009. du 26 au 29 mai.
6. Гуиди Т.К., Галимова Л.В., Пешев В.Ф. Термодинамический анализ холодильной установки маслосырбазы «Астраханская» // Вестник Международной академии холода. 2009. № 1. С. 28-31.
7. Галимова Л.В., Гуиди Т.К. Термодинамическая эффективность холодильной системы на примере пластинчатого льдогенератора // Материалы IV Международной конференции "Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке": Санкт-Петербург, ноябрь 2009г.