

# **ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**РОЛЬ ИЗМЕРЕНИИ В  
ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ**

# РОЛЬ ИЗМЕРЕНИИ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Одной из главных целей научно-технического прогресса в холодильном машиностроении является непрерывное снижение приведенных затрат на выработку искусственного холода.

Эта цель обычно достигается с помощью комплекса разнообразных мер:

- конструктивного совершенствования элементов машины,
- повышения качества и снижения трудоемкости изготовления путем внедрения новых технологических процессов и рациональной организации производства,
- применения научно обоснованной системы обслуживания и планово-предупредительного ремонта.

Определить же эффективность всех проведенных мер можно только с помощью измерения параметров машины, характеризующих ее потребителями.

# РОЛЬ ИЗМЕРЕНИИ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Очевидно, что любое нарушение нормальной работы машины должно вызвать изменение какого-либо потребительского параметра. Для обеспечения в период эксплуатации постоянства показателей эффективности, свойственных данному изделию, необходимо следить за показаниями приборов и сопоставлять их со значениями, соответствующими нормальной работе исправного оборудования. Поэтому процессы измерения и анализ изменения параметров работы холодильной машины проводятся в течение всего жизненного цикла каждой машины.

# РОЛЬ ИЗМЕРЕНИИ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

В настоящее время в соответствии с ГОСТом изделия холодильного машиностроения, выпускаемые серийно или подготовляемые для серийного выпуска, проходят несколько видов испытаний с обязательным измерением параметров, позволяющих получить объективную оценку изделия и ответить на вопросы, обусловленные целью проведения испытаний.

# РОЛЬ ИЗМЕРЕНИИ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Опытный образец или опытная партия новой продукции подвергаются вначале предварительным испытаниям, организуемым предприятием-разработчиком с привлечением предприятия-изготовителя и предприятий-соисполнителей, а затем, после доработки образца и корректировки технической документации по результатам предварительных испытаний, — приемочным испытаниям, организуемым предприятием-разработчиком при участии предприятия-изготовителя, заказчика, а также представителей головной организации, технической инспекции труда профсоюзов и органов Госстандарта.

# РОЛЬ ИЗМЕРЕНИИ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Предварительные испытания опытного образца или опытной партии проводят для определения соответствия продукции техническому заданию, требованиям стандартов и технической документации и для решения вопроса о возможности представления ее на приемочные испытания. По результатам предварительных испытаний может быть проведена доработка опытного образца.

# РОЛЬ ИЗМЕРЕНИИ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Приемочные испытания опытного образца или опытной партии проводят для определения соответствия продукции техническому заданию, требованиям стандартов и технической документации, оценки технического уровня и определения возможности постановки продукции на производство.

# РОЛЬ ИЗМЕРЕНИИ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Приемо-сдаточные испытания проводят для определения соответствия стандартам и техническим условиям каждого образца продукции, выпущенного предприятием-изготовителем. Перечень измеряемых при испытании параметров и допустимые значения их указываются в стандартах или технических условиях. Например, у поршневых компрессоров холодопроизводительностью от 3,5 до 100 кВт проверяют объемную производительность и герметичность. Контроль соответствия измеренных параметров допустимым осуществляют службы технического контроля предприятия-изготовителя.

# РОЛЬ ИЗМЕРЕНИИ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Периодические испытания проводят с целью оценки соответствия продукции требованиям стандартов и технических условий, а также стабильности показателей качества, подтверждающих присвоенную категорию качества продукции, выпущенной за определенный период.

Проводимые при испытании измерения должны обеспечить проверку соблюдения в процессе производства требований стандартов и технических условий.

Продолжительность периодических испытаний компрессоров должна быть не менее 500 ч, машин — 300 ч.

Испытания проводит предприятие-изготовитель с приглашением при необходимости представителей предприятия-разработчика и заказчика.

# РОЛЬ ИЗМЕРЕНИИ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Важнейшую роль играют измерения при экспериментальных исследованиях в процессе проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Они позволяют не только ответить на вопрос о соответствии испытываемой модели предъявляемым требованиям или ожидаемым результатам, но и вскрыть причины отклонений от них, понять физическую сущность протекающих в модели процессов, влияющих на значения анализируемых параметров.

# РОЛЬ ИЗМЕРЕНИИ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Таким образом, на всех стадиях создания и в течение всего жизненного цикла машин и агрегатов холодильной техники измерения обеспечивают постоянный контроль за интересующими нас параметрами и позволяют дать объективную оценку, как состоянию холодильной техники, так и качеству проведенной работы.

Достоверность полученных данных зависит от точности измерений, которая определяется рядом условий, обеспечиваемых при проведении измерений.

# **УСЛОВИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ И СОПОСТАВИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ СРАВНЕНИИ ИЗДЕЛИЙ**

Для обеспечения высокой точности измерений необходимо соблюдать требования, продиктованные специфическими особенностями холодильной техники, не только в процессе самого измерения, но и на всех предыдущих этапах подготовки испытания, начиная с разработки испытательного стенда, и далее на всех этапах подготовки и проведения испытаний.

# УСЛОВИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Точность измерений зависит от:

- точности измерительных приборов,
- соблюдения правил установки датчиков,
- конструкции испытательного стенда и др.

При измерении имеет значение точность всех приборов, включенных в измерительную цепь, — от датчика до показывающего или записывающего прибора.

Выбор приборов по точности должен осуществляться из условия, чтобы погрешность измерения не превышала допустимого значения, обусловленного целью и методикой проводимого испытания.

## Соблюдение правил установки датчика

Одним из главных условий, обеспечивающих измерение в соответствии с классом точности прибора, является соблюдение правил установки датчика. Рекомендации по установке датчиков даются в инструкции по эксплуатации приборов.

## Соблюдение правил установки датчика

Особое внимание надо уделять подбору и установке датчиков, а также месту и организации отбора проб при измерении параметров движущегося пара в трубопроводах и проточной части машин и аппаратов.

Датчики должны размещаться в установившемся потоке вдали от мест возмущения и не должны вызывать заметного увеличения скорости потока, т. е. поперечное сечение датчика должно быть, по крайней мере, на порядок меньше поперечного сечения потока.

## Соблюдение правил установки датчика

Следует иметь в виду, что чувствительный элемент обычного лабораторного термометра, установленного в потоке, показывает температуру  $T_T$ , большую ее термодинамического значения  $T$ , но меньшую, чем температура торможения  $T^*$ . Истинное значение термодинамического значения температуры определяется с помощью коэффициента восстановления температуры  $\beta$ :

$$T = T_m - \beta \frac{w^2}{2c_p},$$

где  $w$  — скорость, а  $c_p$  — теплоемкость движущегося пара или газа при постоянном давлении.

## Соблюдение правил установки датчика

Для получения надежных результатов при измерении статического давления пара в движущемся потоке следует соблюдать следующие условия:

- диаметр высверленного в стенке отверстия не должен превышать 1,5 мм,
- кромки отверстия не должны иметь выступов и заусенцев,
- ось измерительного отверстия должна быть нормальна к поверхности стенки,
- должна быть обеспечена герметичность импульсной линии от отверстия до измерительного прибора

## Дублирование измерений

Целесообразно для достоверности измерения устанавливать при испытании два прибора, измеряющих один и тот же параметр.

Если отличие в показаниях невелико и не возникает сомнения в достоверности одного из них, то среднее значение измеренной величины в этом случае может быть определено как среднее арифметическое.

## Дублирование измерений

При измерении величин, точность которых зависит от точности измерения нескольких параметров, например массового расхода циркулирующего холодильного агента по тепловому балансу конденсатора или испарителя, дублирование измерений должно быть обязательным. В частности, при испытании холодильных поршневых компрессоров ГОСТом предписывается определение массовой производительности не менее чем двумя измерениями, не зависящими одно от другого.

Установившийся тепловой режим

Испытания с измерением параметров проводят только при установившемся тепловом режиме, при котором все рабочие параметры остаются неизменными или изменяются в допустимых пределах. Для установления режима необходимо поддерживать его длительно и снимать показания приборов несколько раз через 10—15 мин.

Установившийся тепловой режим

За время испытаний холодильных поршневых компрессоров, машин, агрегатов и их элементов со снятием показаний приборов допускаются следующие отклонения от среднеарифметических значений измеряемых параметров:

## Установившийся тепловой режим

Температура насыщения при конденсации и кипении, °С, не более:

- аммиака  $\pm 1$
- фреонов  $\pm 0,5$

Температура теплоносителей (вода, рассолы, раствор этиленгликоля и др.). °С, не более  $\pm 0,2$

Температура перегретого пара холодильного агента на всасывании в компрессор, °С, не более  $\pm 3$

Разности температур теплоносителей, по которым рассчитывается холодопроизводительность, °С, менее 0,2

Расход теплоносителей и холодильного агента, %, не более 2

Напряжение в сети, %, не более  $\pm 10$

## Конструкция испытательного стенда

Конструкция стенда должна обеспечить максимальное приближение условий работы испытываемой машины или агрегата на стенде к условиям работы в эксплуатации, а условий работы испытываемых элементов — к условиям работы их в составе машины.

## Конструкция испытательного стенда

Стенд комплектуется всеми приборами, позволяющими на основе измерений определить с заданной точностью все количественные значения параметров, предусмотренных программой испытаний.

Расположение регулирующих устройств, обеспечивающих заданный режим работы, и приборов, показывающих результаты измерений, должно быть доступно и удобно для обслуживания и снятия показаний без визуальной погрешности.

Крепление показывающих приборов осуществляется в местах, не имеющих вибрации; при подводе к прибору импульса, переменного по времени, необходимо установить гасители пульсаций

## Конструкция испытательного стенда

При выборе конструкции стенда необходимо учитывать:

- дублирование измерений;
- правильная установка датчиков (в местах минимального возмущения потока и с соблюдением требуемой протяженности прямых участков перед измерительными устройствами и после них, особенно при измерении расхода);
- надежный контроль состояния холодильного агента, в частности, при испытании по полному циклу холодильной машины — контроль отсутствия пара в жидкостной линии перед регулирующими вентилями и отсутствие капель жидкости в паровой линии перед компрессором;
- сокращение до минимума (не более 3%) теплообмена с окружающей средой холодильного агента, протекающего в аппаратах.

# УСЛОВИЯ СОПОСТАВИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ СРАВНЕНИИ ИЗДЕЛИИ

Наиболее часто результаты измерения используются для оценки качества изделия путем сравнения с ранее известными. Непременным и важнейшим условием корректной сопоставимости результатов измерений является одинаковость критериев не только по физической сути и методам определения, но и по математическому выражению. Кроме того, для сопоставимости результатов измерений должен быть выдержан ряд условий проведения испытаний.

## Одинаковость значений режимных параметров

Испытания необходимо проводить при одинаковых значениях режимных параметров: температур кипения, конденсации, переохлаждения перед регулирующим вентилем, на всасывании в компрессор; температур теплоносителя на выходе из испарителя, воды или воздуха на входе в конденсатор; расходов теплоносителя через испаритель и воды или воздуха через конденсатор.

## Одинаковость значений режимных параметров

Для пояснения существенного влияния указанных выше температур холодильного агента на количественные значения измеряемых параметров на рис. II—1 представлены два режима работы одной и той же холодильной машины, работающей по простейшему холодильному циклу одноступенчатого сжатия. Как видно из рис. II—1, удельные значения (приходящиеся на 1 кг циркулирующего холодильного агента) основных параметров существенно изменились.

# Одинаковость значений режимных параметров

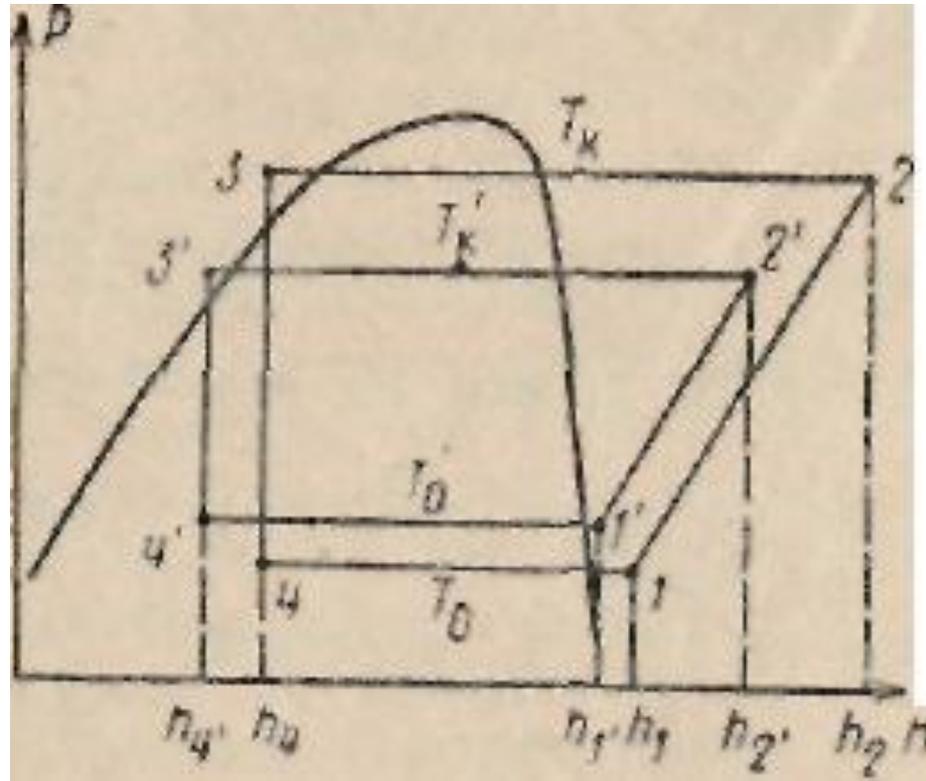


Рис. II—1. Влияние режимных параметров на характеристики холодильной машины

Одинаковость значений режимных параметров

В цикле с меньшей температурой кипения и большей температурой конденсации удельная холодопроизводительность меньше, а удельная работа компрессора и нагрузка на конденсатор больше:

$$h_1 - h_4 < h_{1'} - h_{4'}; \quad h_2 - h_2 > h_{2'} - h_{1'}; \quad h_2 - h_4 > h_{2'} - h_{4'}.$$

Одинаковость значений режимных параметров

Номенклатура параметров, которые необходимо поддерживать одинаковыми при испытании различных изделий холодильной техники для сопоставимости результатов измерений, приведена в следующей таблице.

# НОМЕНКЛАТУРА ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Группы оборудования	Холодильный агент					Теплоноситель		Вода или воздух, охлаждающий конденсатор	
	Температура					Температура на выходе из испарителя	Расход	Температура на входе в конденсатор	Расход
	кипения	конденсации	на входе в конденсатор	переохлаждения	на входе в теплообменник				
1. Компрессоры и агрегаты компрессорные	X	X	X	X					
2. Агрегаты компрессорно-конденсаторные	X		X		X			X	X
3. Агрегаты компрессорно-испарительные		X		X		X	X		
4. Машины для охлаждения жидкостей						X	X	X	X
5. Машины для охлаждения воздуха и газовых сред						X	X	X	X
6. Испарители				X		X	X		
7. Конденсаторы				X				X	X

## Проведение испытаний на одном и том же холодильном агенте

Часто машина или агрегат приспособлены для работы на нескольких холодильных агентах. Тем не менее, для сопоставимости результатов измерений необходимо испытания проводить на одном и том же холодильном агенте. Влияние свойств холодильного агента на основные характеристики компрессора и аппаратов очень существенно.

Проведение испытаний на одном и том же холодильном агенте

На рис. II—2 для примера показано, как меняются холодопроизводительность и мощность компрессора 2ФУБС-12 в зависимости от холодильного агента. При одинаковых режимных параметрах ( $t_0 = -35^\circ\text{C}$ ,  $t_k = +30^\circ\text{C}$ ) холодопроизводительность компрессора при работе на R22 примерно в 1,7 раза меньше, чем при работе на R13B1. Аналогично изменяется и потребляемая мощность.

# Проведение испытаний на одном и том же холодильном агенте

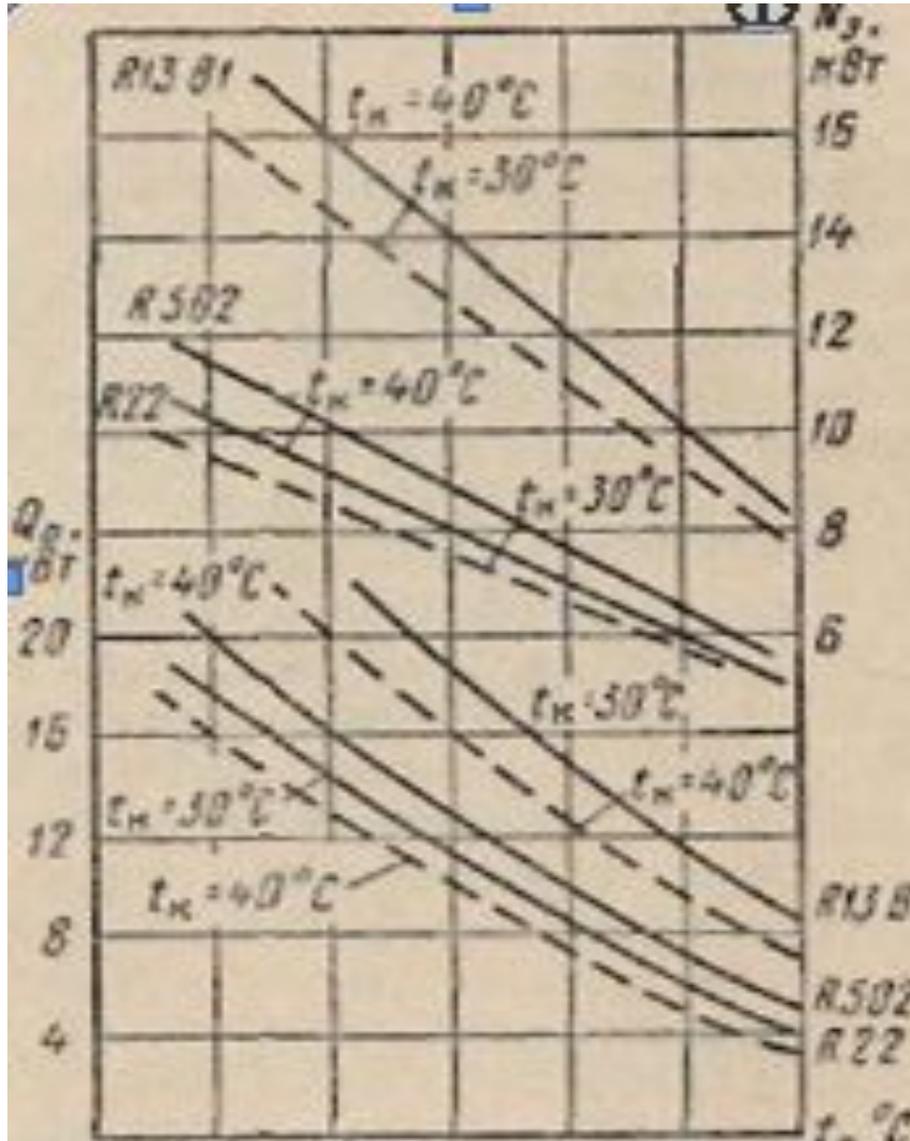


Рис. II—2. Влияние свойств холодильных агентов на холодопроизводительность и потребляемую мощность компрессора при различных температурах кипения  $t_0$  и конденсации  $t_k$

Проведение испытаний на одном и том же холодильном агенте

Во время испытаний необходимо обеспечить чистоту холодильного агента, удалив влагу и неконденсирующиеся газы.

Перед зарядкой холодильным агентом вся испытываемая система должна быть вакуумирована до остаточного давления не выше 3,3 кПа (25 мм рт. ст.) при работе с температурой кипения до  $-40^{\circ}\text{C}$  и не выше 1,34 кПа (10 мм рт. ст.) с температурой кипения ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Остатки неконденсирующихся газов (воздуха) из системы удаляют продувкой холодильным агентом.

## Одинаковость свойств теплоносителя

Для сопоставимости результатов измерений необходимо испытание испарителей и холодильных машин проводить на одном и том же теплоносителе. В следующей таблице показано влияние свойств теплоносителя на характеристики испарителя.

Даже изменение концентрации компонентов в составе теплоносителя сказывается на количественных значениях результатов измерений.

Коэффициент теплоотдачи и теплопередачи испарителя при различных теплоносителях в режиме:  $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{ТН ср}} = 6 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_{\text{ТН ср}} = 1 \text{ м/с}$

Теплоноситель	Массовая доля растворенного вещества, %	Температура мерзания, $^\circ\text{C}$	Коэффициент теплоотдачи $\alpha$ , Вт/( $\text{м}^2\text{K}$ )	Коэффициент теплопередачи $k$ , Вт/( $\text{м}^2\text{K}$ )
Вода		0	4387	2193
Водный раствор $\text{CaCl}_2$	9,4	-5,2	4141	2075
	18,9	-15,7	3776	1888
	25,7	-31,2	3489	1744
Водный раствор этиленгликоля	12,2	-5,0	3139	1569
	27,4	-15,0	2670	1335
	42,6	-29,0	2175	1087

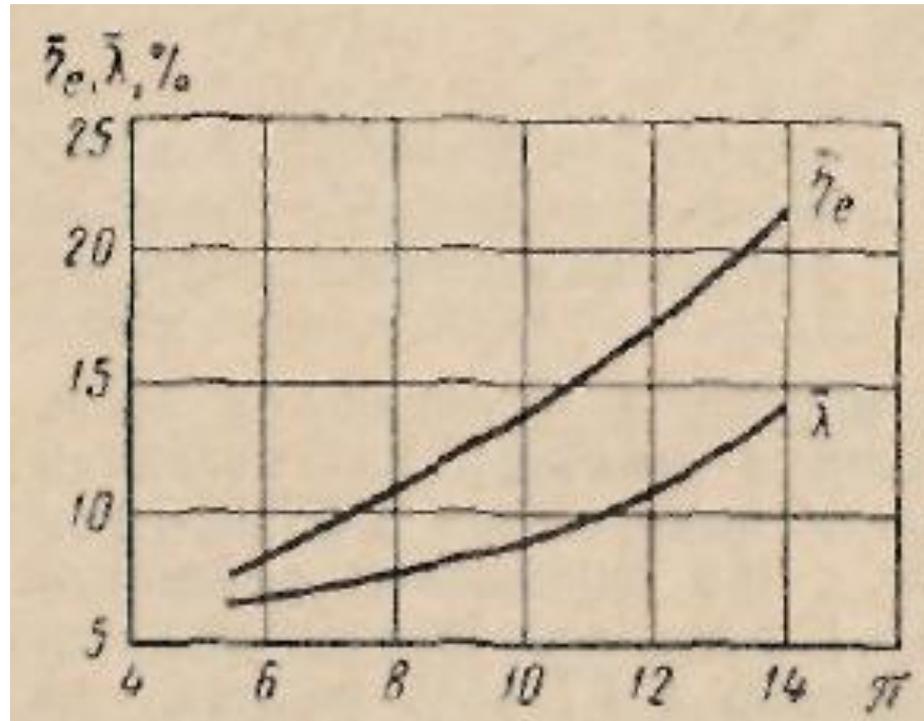
## **Проведение испытаний при одинаковых свойствах масла и его содержании в холодильном агенте**

Наличие масла в холодильном агенте, циркулирующем в испытательном стенде, влияет на количественные результаты испытаний компрессоров и аппаратов. Существенное влияние на характеристики компрессоров и аппаратов оказывает взаимная растворимость масла с холодильными агентами. Растворенное в жидком холодильном агенте масло снижает холодопроизводительность холодильной машины. Это связано с тем, что давление раствора холодильного агента с маслом в испарителе ниже давления чистого холодильного агента, поэтому при заданной температуре кипения давление паров и холодопроизводительность компрессора оказываются ниже, чем при работе на чистом холодильном агенте.

Проведение испытаний при одинаковых свойствах масла и его содержании в холодильном агенте

Существенное влияние оказывает взаимная растворимость масла и холодильного агента на эффективный КПД и коэффициент подачи маслозаполненного винтового компрессора. Растворенный во впрыскиваемом масле холодильный агент заполняет часть рабочего объема компрессора и тем самым уменьшает его производительность. Поэтому применение масел, хуже растворяющих в себе холодильный агент, приводит к значительному улучшению характеристик винтового компрессора.

Проведение испытаний при одинаковых свойствах масла и его содержании в холодильном агенте



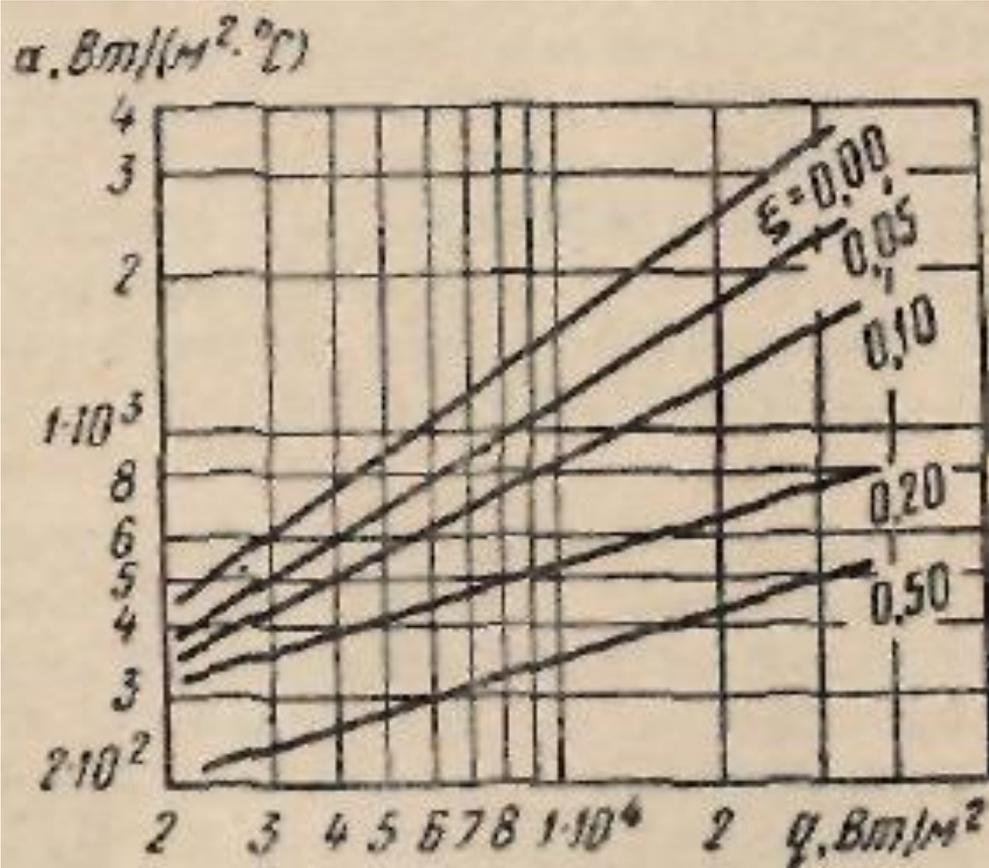
Зависимость приращения эффективного КПД и коэффициента подачи при использовании масла ХС40 вместо ХА30 от степени повышения давления  $\pi$

Проведение испытаний при одинаковых свойствах масла и его содержании в холодильном агенте

Заметно снижаются коэффициенты теплоотдачи при конденсации и кипении из-за наличия масляной пленки на поверхностях труб кожухотрубных теплообменных аппаратов.

Для примера на следующем рисунке показано изменение коэффициента теплоотдачи в зависимости от содержания масла ХФ22с-16 при кипении R22

# Проведение испытаний при одинаковых свойствах масла и его содержании в холодильном агенте



Зависимость коэффициента теплоотдачи от теплового потока при кипении R22 с различным содержанием масла ХФ22с-16

## Устранение теплоотдачи в окружающую среду

Для получения достоверных и сопоставимых результатов необходимо, чтобы на измеряемом участке стенда или элемента холодильной машины отсутствовал теплообмен с окружающей средой. Например, холодопроизводительность испарителя холодильной машины определяется из условия, что она равна количеству теплоты, отданной теплоносителем.

Устранение теплоотдачи в окружающую среду

Это условие справедливо только при отсутствии теплопритоков из окружающей среды как к холодильному агенту, так и к теплоносителю. Поэтому испаритель и участки трубопроводов теплоносителя, примыкающие к испарителю, на которых установлены средства измерения, должны быть покрыты эффективной изоляцией.

## Устранение теплоотдачи в окружающую среду

В условиях, когда по каким-либо соображениям невозможно устранить теплопритоки, величина их должна быть известна при испытании.

Для этого проводятся предварительные измерения, позволяющие достаточно точно оценить теплообмен с окружающей средой в зависимости от определяющих ее параметров, изменяемых в процессе испытаний.

## Обеспечение условий сопоставимости

Изложенные условия сопоставимости при сравнении характеристик изделий холодильной техники многогранны и сложны для реализации в процессе измерений, если они не выполнены заблаговременно в период подготовки испытаний. Для обеспечения их должны быть приняты необходимые меры уже при проектировании испытательного стенда и разработки методики испытания.

## Обеспечение условий сопоставимости

Иногда допускается без соблюдения одного или двух условий сопоставимости осуществить пересчет полученных измерением параметров на другие условия, но это только в тех случаях, когда количественная зависимость этих параметров от невыполненных условий сопоставимости известна из результатов ранее проведенного эксперимента.

# Обеспечение условий сопоставимости