



**Железный, В. П.** Рабочие тела парокomppressorных холодильных машин: свойства, анализ, применение [Текст] : монография / Железный Виталий Петрович, Семенюк Юрий Владимирович ; Одес. гос. акад. холода. - Одесса : Фенікс, 2012. - 420 с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 368-392. - ISBN 978-966-438-612-5.

Монография посвящена вопросам, связанным с применением новых хладагентов и масел в парокomppressorных холодильных машинах. Рассмотрена классификация хладагентов, компрессорных масел, приведены их основные теплофизические, экологические и технологические характеристики. Выполнен анализ проблем применения альтернативных хладагентов и предложены новые методики экологоэнергетического анализа. Значительное внимание уделено оценке влияния примесей масла в рабочем теле на показатели эффективности компрессорной системы. Монография предназначена для инженеров, которые занимаются проектированием, созданием и эксплуатацией холодильного оборудования, а также для аспирантов и студентов холодильных, энергетических и экологических специальностей.

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

В 90-х годах прошлого века были приняты законодательные акты по предотвращению разрушения слоя стратосферного озона и регулированию выбросов парниковых газов в атмосферу [1, 2], что привело к кардинальным изменениям в технологиях кондиционирования воздуха и получения искусственного холода.

В рамках реализации указанных законодательных актов в парокomppressorных холодильных машинах потребовалась замена хорошо изученных хладагентов, таких как R12, R22, R502, R114, R12B1, R13B1, R13, R503, на альтернативные, которые не должны оказывать влияния на процессы глобальных климатических изменений.

В настоящее время помимо экологических требований, предъявляемых к альтернативным хладагентам, основным условием выбора новых рабочих тел становится повышение энергетической эффективности компрессорных систем.

Накопленный за два последних десятилетия опыт внедрения альтернативных хладагентов в промышленность показывает, что эта задача до сих пор остается нерешенной. Учеными различных стран, ведущими химическими корпорациями предлагаются все новые вещества, перспективные для применения в холодильной промышленности. Количество этих веществ и смесей на их основе уже превышает несколько сотен. В условиях нечетко сформулированных многочисленных критериев оценки перспективности новых хладагентов задача выбора рабочего тела для определенного вида холодильной техники становится сложной научно-технической проблемой.

По мнению авторов, существует несколько причин, препятствующих решению задач, связанных с выбором альтернативных хладагентов. Во-первых, отсутствие у многих специалистов понимания, что вне рамок системного подхода к выбору рабочего тела для парокомпрессорных холодильных машин невозможно учесть многочисленные и противоречивые требования, предъявляемые к хладагентам и маслам. Поэтому задача поиска «идеального» хладагента для различных видов холодильной техники бесперспективна. Во-вторых, такие общепринятые методы оценки эффективности оборудования как экономический, термодинамический или эксергетический анализ не адаптированы к решению экологических проблем, возникающих при эксплуатации холодильной техники. В-третьих, большинством специалистов при выборе альтернативных хладагентов до сих пор не учитываются такие важные факторы, как влияние примесей компрессорного масла на теплофизические свойства рабочего тела, показатели эффективности компрессорной системы и теплообмен в испарителе, конденсаторе. Вопросы селективной утечки компонентов смесевых хладагентов и их различной растворимости в компрессорных маслах также не стали факторами, определяющими выбор хладагента.

Нельзя утверждать, что эти важные вопросы остались вне рамок рассмотрения ученых. В многочисленных статьях и материалах конференций, проводимых Международным институтом холода (IIR) и Международной академией холода (IAR), приводятся результаты изучения теплофизических свойств новых хладагентов и их растворов с компрессорными маслами, рассматриваются вопросы теплообмена при кипении и конденсации альтернативных рабочих тел. Различными авторами излагаются результаты изучения эффективности холодильного оборудования, в котором используются альтернативные хладагенты. В последние годы опубликован ряд монографий [3-7], учебных пособий и справочников [8, 9], разрабатываются информационные базы данных о свойствах хладагентов [10] и т.п. Вместе с тем, несмотря на высокую информационную активность специалистов, вопросы научно обоснованного

выбора альтернативных хладагентов остаются актуальными.

В предлагаемой читателям монографии авторы предприняли попытку системного анализа проблем, возникающих при выборе альтернативных хладагентов для парокомпрессорных холодильных машин. В монографии приводится классификация хладагентов и компрессорных масел, рассмотрены их основные теплофизические, экологические и технологические характеристики. Выполнен подробный анализ экологических и энергетических проблем применения хладагентов в промышленности, рассмотрены существующие методы анализа эффективности холодильной техники. Авторы предлагают новые методики оценки эколого-энергетической эффективности оборудования и результаты исследования перспективности применения альтернативных хладагентов в различных типах холодильного оборудования.

По глубокому убеждению авторов, выбор альтернативных хладагентов должен основываться на новых принципах эколого-энергетического анализа с использованием информации о теплофизических свойствах реальных рабочих тел - растворов хладагент/компрессорное масло. Поэтому последний раздел монографии посвящен оценке влияния примесей масла в рабочем теле на показатели эффективности компрессорных систем.

К настоящему времени уже опубликовано несколько монографий и учебных пособий (см., например, [3-8] и др.), посвященных выбору и использованию альтернативных хладагентов в парокомпрессорных холодильных машинах.

Основной целью данной работы являлось подробное изложение результатов исследований, которые были получены за последние двадцать лет в лаборатории кафедры инженерной теплофизики Одесской государственной академии холода.

При подготовке монографии авторы опирались на работы таких известных ученых, как Бадылькес И.С, Бродянский В.М., Гохштейн Д.П., Долинский А.А., Калнинь И.М., Мартыновский В.С. Мельцер Л.В., Оносовский В.В., Цветков О.Б., Цветков О.Н., Янговский Е.И., Billiard F., Busch F., Fisher S.K., Kuijpers L., Loretzen G., McMullan J.T. и др.

Авторы выражают искреннюю благодарность профессору А. С. Титлову и профессору А. А. Вассерману, взявшим на себя труд рецензирования рукописи книги. Авторы также признательны аспирантам кафедры инженерной теплофизики Т.Д. Шестовой и А.Г. Никулину за большую помощь при подготовке рукописи к печати.

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	5
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	7
<b>1 КЛАССИФИКАЦИЯ ХЛАДАГЕНТОВ И КОМПРЕССОРНЫХ МАСЕЛ..</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b> Классификация холодильных агентов и их основные характеристики...	12
<b>1.2</b> Экологические факторы и факторы безопасного использования хладагентов.....	32
<b>1.3</b> Компрессорные масла для холодильных машин.....	42
<b>1.3.1</b> Классификация масел для холодильных компрессоров и машин.....	43
<b>1.3.2</b> Основные свойства холодильных масел.....	52
<b>2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ХЛАДАГЕНТОВ.....</b>	<b>78</b>
<b>2.1</b> Эколого-энергетические проблемы современности.....	79
<b>2.2</b> Глобальные климатические изменения и холодильная индустрия.....	83
<b>2.3</b> Требования к рабочим телам для холодильного оборудования.....	87
<b>2.4</b> Стратегия перевода холодильного оборудования на альтернативные хладагенты.....	96
<b>3 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....</b>	<b>102</b>
<b>3.1</b> Краткий анализ методов оценки эффективности холодильного оборудования.....	102
<b>3.2</b> Экологические принципы менеджмента при анализе эффективности применения альтернативных хладагентов.....	119
<b>3.2.1</b> Влияние эмиссии хладагентов на величину прямого вклада в TEWI.....	128
<b>3.2.2</b> Косвенный вклад в TEWI от потребления энергии холодильным оборудованием.....	133
<b>3.2.3</b> Косвенный вклад в TEWI от потребления энергетических ресурсов при создании и утилизации холодильного оборудования.....	135
<b>3.3</b> Основные принципы эколого-энергетического анализа эффективности холодильного оборудования.....	138
<b>3.4</b> Методика расчета эквивалентной эмиссии парниковых газов в промышленности.....	143
<b>3.5</b> Выводы.....	153
<b>4 РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫБОРУ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ.....</b>	<b>159</b>
<b>4.1</b> Свойства и применение гидрохлорфторуглеродов.....	160
<b>4.1.1</b> Хладагент R22 как альтернатива хладагентам R12 и R502.....	160
<b>4.1.2</b> Краткая характеристика гидрохлорфторуглеродов R123, R124a и R142b.....	166
<b>4.2</b> Альтернативные HFC, FC и HC-хладагенты, их свойства и применение.....	168
<b>4.2.1</b> Однокомпонентные галоидопроизводные озонобезопасные	

HFC-хладагенты.....	171
4.2.2 Фторуглеродные хладагенты.....	185
4.2.3 Новые галоидопроизводные углеводородов.....	188
4.2.3 Однокомпонентные природные хладагенты.....	189
4.2.5 Свойства и применение некоторых смесевых HFC-хладагентов....	214
4.3 Примеры применения эколого-энергетического метода анализа при выборе альтернативных хладагентов.....	231
4.3.1 Эколого-энергетический анализ перспектив замены хладагента R22 на альтернативные хладагенты.....	232
4.3.2 Методика выбора сервисных HCFC-хладагентов для замены R12 в установленном холодильном оборудовании.....	238
4.3.3 Альтернативные хладагенты для систем кондиционирования в горячих цехах.....	257
4.3.4 Перспективы использования озононеразрушающих хладагентов в оборудовании для кондиционирования воздуха.....	273
4.3.5 Анализ эколого-энергетической целесообразности использования тепловых насосов в системах теплоснабжения теплиц.....	276
4.3.5.1 Выбор хладагента для высокотемпературных тепловых насосов.....	282
4.3.5.2 Эколого-энергетический анализ целесообразности применения тепловых насосов для отопления теплиц.....	289
<b>5 ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ МАСЛА В РАБОЧЕМ ТЕЛЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПРЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>325</b>
5.1 Разработка диаграмм $lgP - h$ и $h - w_R$ для реальных рабочих тел.....	327
5.2 Оценка влияния примесей масла в РРТ на теоретические показатели эффективности компрессорной системы.....	335
5.3 Влияние примесей масла на теоретические показатели эффективности компрессорной системы с регенеративным теплообменником.....	346
5.4 Анализ выполненных расчетов показателей энергетической эффективности компрессорных систем.....	352
5.4.1 Сравнение расчетных характеристик эффективности компрессорных систем с литературными данными.....	353
5.4.2 Сравнение рассчитанных показателей эффективности компрессорной системы с результатами эксплуатационных испытаний ЗАО «Атлант» (г Минск).....	357
5.4.3 Сравнение результатов теоретического расчета эффективности холодильного оборудования с данными эксплуатационных испытаний АО "Холодмаш" (г. Ярославль).....	360
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>366</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>368</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>	<b>393</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....</b>	<b>413</b>