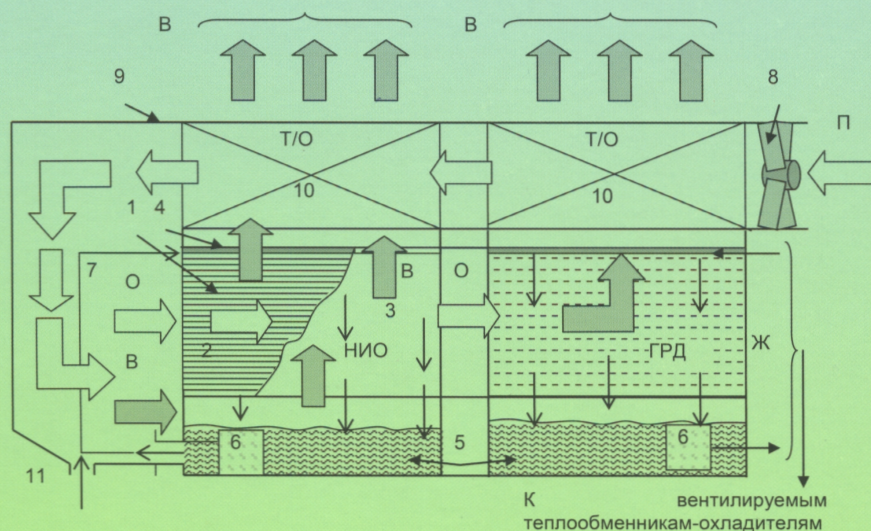


ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ ОХЛАДИТЕЛИ В АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ



Дорошенко Александр Викторович – доктор технических наук (1992), профессор кафедры технической термодинамики Одесской государственной академии холода; директор Бюро «Новые технологии» (исследования – разработка – производство); ассоциативный член Международного института холода IIF/IIR; член Международной академии холода (МАХ), известный ученый в области теплообмена и гидродинамики в двухфазных средах, автор более 200 научных работ и изобретений (свыше 150, в том числе 15 патентов Украины); подготовил более 20 кандидатов технических наук, успешно работающих на Украине, в Европе, Америке и Австралии.

Научные и инженерные области деятельности: тепломассоперенос в аппаратах холодильных, криогенных и энергетических установок; альтернативная энергетика, создание, разработка и промышленный выпуск автономных систем энерго-тепло-хладоснабжения на основе возобновляемых источников энергии, теплонасосной техники и эффективных аккумуляторов энергии с фазовой трансформацией теплоносителя.



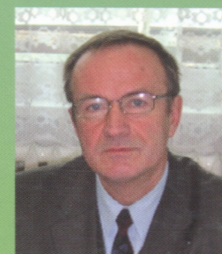
Васютинский Сергей Юрьевич — кандидат технических наук (1996), доцент кафедры криогенной техники Одесской государственной академии холода (2000); член-корреспондент Украинского отделения Международной академии холода. Автор более 30 научных и методических работ, в том числе, монографии, учебного пособия с грифом Министерства образования, науки, молодежи и спорта Украины, двух патентов Украины.

Научные и инженерные области деятельности: теория и расчет теплообмена в аппаратах низкотемпературной техники и энергетических установок; альтернативная энергетика; проблемы комплексного разделения воздуха для получения технических газов.



Филин Сергей Олегович – доктор технических наук (1997), профессор (2002), зав. отделом холодильной техники кафедры кондиционирования и холодильного транспорта Западно-поморского технологического университета в Щецине. Выпускник Одесского технологического института холодильной промышленности. Автор около 100 патентов и более 180 публикаций, в том числе 5 монографий и учебников. Академик МТА и МАХ. Более 30 лет занимается термоэлектрическим способом охлаждения и проектированием холодильного оборудования. Работал в институтах НАН Украины, отраслевых НИИ и КБ. В течение 8 лет руководил Киевским НПП «Льдотехника», где разрабатывались, исследовались и производились транспортные холодильники и другие термоэлектрические изделия. С 1998 года развивает это направление в Польше, ведя научную и педагогическую деятельность.

Области научных интересов: альтернативные методы охлаждения, техника и технология производства льда, транспортные холодильные системы, информационная энергетика.



Закшевский Богуслав Зенон – доктор технических наук (2002), профессор (2005), выпускник механического факультета Щецинской политехники. Более 35 лет работает в этом ВУЗе, пройдя путь от аспиранта до декана факультета морской техники и транспорта и зав.кафедрой кондиционирования и холодильного транспорта. Автор более 200 научных работ, в том числе 6 книг и учебных пособий, а также 28 патентов. Член Польского комитета стандартизации, Международного института холода IIF/IIR, дипломированный технический эксперт.

Области научных интересов: разработка и исследование энергоэффективных технических решений холодильного оборудования, систем кондиционирования и тепловых насосов, изучение и оптимизация процессов инееобразования и оттайки.

А.В. Дорошенко
С.Ю. Васютинский
С.О. Филин
Богуслав Закшевский

ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ ОХЛАДИТЕЛИ В АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ



Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

Западно-поморский технологический университет в Щецине
2012

УДК 620.91:662.997
Г69

Рецензенты:

д.т.н., проф. Титлов А.С.

к.т.н. Фёдоров М.Ю.

Издано с согласия Ректора
Западно-поморского технологического университета в Щецине

Г 69 Дорошенко А.В., Васютинский С.Ю., Филин С.О., Закшевский Богуслав.
Испарительные охладители в альтернативной энергетике. ZAPOL, Щецин,
2011 - 440 с.

Монография посвящена солнечным системам тепло-хладоснабжения. Основной материал получен авторами в процессе разработки и создания нового поколения солнечных систем. Разработаны научные и инженерные основы конструирования полимерных солнечных коллекторов (газовых, жидкостных и газо-жидкостных) на основе многослойных и многоканальных структур из поликарбоната, что обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики и низкую стоимость, при длительной «жизни» на солнце. Разработаны комбинированные системы теплоснабжения на основе совмещения солнечного и традиционных источников энергии. Представлено новое поколение солнечных осушительно-испарительных холодильных систем и систем кондиционирования воздуха на основе открытого абсорбционного цикла и разработаны тепломассообменные аппараты пленочного типа для этих систем (абсорберы-осушители, десорберы-регенераторы, испарительные охладители газов и жидкостей) с использованием полимерных материалов. Описаны некоторые другие примеры использования испарительного охлаждения в холодильной технике. Даны практические рекомендации по конструированию систем и аппаратов, включая выбор рабочих тел и оптимальных режимных параметров. Экологические достоинства новых разработок оцениваются на основе современной концепции «Полный жизненный цикл» (Life Cycle Assessment).

Для специалистов в области альтернативной энергетики, систем тепло- и хладоснабжения и кондиционирования воздуха, а также для преподавателей, аспирантов и студентов энергетических, машиностроительных и строительных специальностей вузов.

© Copyright by Alexander Doroshenko, Sergiey Vasyutynsky, Sergiy Filin, Bogusław Zakrzewski P.P.H. ZAPOL

ISBN 978-83-7518-387-0

Издатель: P.P.H. ZAPOL Dmochowski, Sobczyk sp.j. Szczecin, al. Piastów 42

Печать: P.P.H. ZAPOL Dmochowski, Sobczyk sp.j. Szczecin, al. Piastów 42

Recenzenci:

prof., dr hab. inż. A. S. Titlov

dr inż. Mychaylo Fedorov



Wydano za zgodą JM Rektora
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie

**DOROSHENKO A.V., VASYUTYNSKY S.YU., FILIN S.O.,
ZAKRZEWSKI BOGUSŁAW**

WYPARNE SYSTEMY CHŁODZENIA W ALTERNATYWNEJ ENERGETYCE

(język rosyjski)

Monografia jest poświęcona słonecznym systemom wytwarzania ciepła i zimna. Podstawowy materiał uzyskano przez autorów w trakcie opracowania i budowy słonecznych systemów nowej generacji. Opracowano naukowe i inżynierskie podstawy konstruowania polimerowych kolektorów słonecznych (gazowych, cieczowych i mieszanych) przy wykorzystaniu wielowarstwowych i wielokanałowych struktur z polikarbonatu, co zapewnia wysokie charakterystyki eksploatacyjne i niskie koszty wytwarzania przy dłuższym czasie eksploatacji. Opracowano kombinowane systemy ogrzewania na zasadzie połączenia słonecznego i tradycyjnego źródła energii. Przedstawiono nową generację słonecznych systemów chłodniczych osuszająco-wyparnych i systemów klimatyzacji z wykorzystaniem otwartego obiegu absorpcyjnego. Opracowano wymienniki ciepła dla tych systemów, w tym ochładzacze wyparne. Omówiono inne przykłady zastosowania chłodzenia wyparnego w chłodnictwie i klimatyzacji. Przedstawiono praktyczne zalecenia dotyczące konstruowania systemów i aparatów, w tym wyboru płynów roboczych i optymalnych parametrów procesowych. Ekologiczne walory nowych opracowań są analizowane za pomocą współczesnej koncepcji *Life Cycle Assessment*.

Książka jest skierowana do fachowców w dziedzinie alternatywnej energetyki, systemów chłodniczych i ogrzewania, klimatyzacji, również dla wykładowców, doktorantów i studentów kierunków: budowa maszyn, energetyka, budownictwo.

© Copyright by Alexander Doroshenko, Sergiey Vasyutynsky, Sergiy Filin, Bogusław Zakrzewski P.P.H. ZAPOL

ISBN 978-83-7518-387-0

Wydawca: P.P.H. ZAPOL Dmochowski, Sobczyk sp.j. Szczecin, al. Piastów 42

Druk: P.P.H. ZAPOL Dmochowski, Sobczyk sp.j. Szczecin, al. Piastów 42

СОДЕРЖАНИЕ

Основные условные обозначения	13
Публикации авторов по теме работы	16
Аннотация	22
Annotation	25
Введение	
Взаимосвязанные проблемы энергетики, экологии и экономики. Изменение климата земли и проблема глобального потепления	27
Роль альтернативной энергетики в решении вопросов энергообеспечения и экологической безопасности	29
Современное состояние и требования к новому поколению холодильных и кондиционирующих систем	29
Раздел 1. СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ. СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В МИРЕ	
Аннотация к разделу 1	32
Annotation for Section 1	33
1.1. Солнечная энергетика	34
1.1.1. Виды альтернативных источников энергии, современное состояние, динамика и объемы практического использования в мировой практике альтернативных источников энергии	34
1.1.2. Варианты и принципиальные возможности использования солнечных систем в области тепло-холодо-энергоснабжения (жизнеобеспечения)	36
1.2. Солнечные системы теплоснабжения. Основные варианты плоских солнечных коллекторов для альтернативных систем	38
1.3. Солнечные холодильные и кондиционирующие системы	46
1.3.1. Солнечные холодильные и кондиционирующие системы: обзор современного состояния, общие требования, имеющиеся результаты и анализ возможностей	46
1.3.2. Системы с прямой солнечной регенерацией абсорбента	71
1.3.3. Системы с непрямой солнечной регенерацией абсорбента	74
1.3.4. Тепломассообменная аппаратура для альтернативных систем	76
1.4. Заключение по материалам обзора	97
1.4.1. Выводы по материалам раздела	97
1.4.2. Основные проблемы и направления развития солнечной энергетики	99
1.4.3. Основные задачи создания альтернативных систем	99
Раздел 2. СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	
Аннотация к разделу 2	101
Annotation to Section 2	102
2.1. Общая характеристика солнечного излучения	103

2.1.1. Характеристики солнечного излучения. Прямая и рассеянная (диффузная) радиация	103
2.1.2. Определение оптимального наклона солнечного коллектора для системы горячего водоснабжения	107
2.2. Солнечные системы с плоскими солнечными коллекторами для альтернативных систем (новые разработки)	112
2.2.1. Плоские солнечные коллекторы традиционного типа (с использованием цветных металлов в конструкции теплоприемника)	112
2.2.2. Плоские солнечные коллекторы из полимерных материалов	112
2.2.2.1. Анализ и выбор материалов для полимерных солнечных коллекторов	112
2.2.2.2. Полимерные солнечные коллекторы	116
2.2.2.3. Плоские солнечные коллекторы-регенераторы для альтернативных систем АСКВ с прямой регенерацией абсорбента	125
2.3. Моделирование процессов в гелиосистеме с плоскими солнечными коллекторами	134
2.3.1. Гелиосистема с естественной циркуляцией теплоносителя	134
2.3.2. Моделирование рабочих процессов в плоском полимерном солнечном коллекторе	142
2.3.3. Гелиосистема с принудительной циркуляцией теплоносителя	150
2.3.4. Теплотехнические характеристики солнечных газо-жидкостных коллекторов-регенераторов	152
2.3.4.1. Процессы трансформации солнечной энергии в солнечном газо-жидкостном коллекторе-регенераторе	152
2.3.4.2. Рекомендации к расчету и выбору режимных параметров для конструирования СК/Р	158
2.4. Анализ полученных результатов	163
2.4.1. Анализ теоретических результатов для гелионагревательного контура с традиционными солнечными коллекторами	163
2.4.2. Оптимизация геометрических параметров полимерного солнечного коллектора	165
2.4.3. Тепловая эффективность металлических СК	167
2.4.4. Результаты расчетов	168
2.5. Экспериментальное изучение характеристик СК. Анализ результатов натурных испытаний	170
2.5.1. Экспериментальное оборудование методика и программа исследований	170
2.5.2. Характеристики исследованных модулей	174
2.5.3. Методика и программа исследований	174
2.5.4. Результаты экспериментальных исследований. Интегральные данные и данные по динамическим характеристикам	176
2.5.5. Сравнение расчетных зависимостей с экспериментальными данными	177
2.6. Выводы и рекомендации	182

Раздел 3. СОЛНЕЧНЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ И КОНДИЦИОНИРУЮЩИЕ (ОСУШИТЕЛЬНО-ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ) СИСТЕМЫ

Аннотация к разделу 3.....	184
Annotation to Section 3	185
3.1. Основные требования к альтернативным системам, основанным на использовании открытого абсорбционного цикла и солнечной энергии ...	186
3.2. Разработка новых схемных решений и тепломассообменной аппаратуры для альтернативных систем	188
3.2.1. Схемные решения для альтернативных систем с прямой (открытой) регенерацией абсорбента	189
3.2.2. Разработка новых схемных решений для альтернативных систем с непрямой регенерацией абсорбента	205
3.2.3. Общий термодинамический анализ открытых абсорбционных систем	217
3.3. Разработка тепломассообменной аппаратуры для альтернативных систем	219
3.3.1. Требования к тепломассообменной аппаратуре, входящей в состав альтернативных систем	219
3.3.2. Возможности использования полимерных материалов в конструкции пленочных ТМА (абсорберы, десорберы, солнечные коллекторы)	225
3.4. Испарительные охладители	227
3.4.1. Испарительные охладители прямого типа (градирни, воздухоохладители)	227
3.4.2. Испарительные охладители непрямого типа (НИО)	234
3.4.2.1. Основные схемные решения	234
3.4.2.2. Испарительные охладители регенеративного типа	238
3.4.2.3. Многоступенчатые и комбинированные испарительные охладители в составе НИО/НИО или НИО/ПИО	239
3.5. Теплообменная аппаратура для осушительного контура АСКВ (абсорберы-осушители и десорберы-регенераторы)	240
3.6. Рабочие вещества (абсорбенты) – основные требования, выбор растворов и их теплофизические свойства	246
3.7. Моделирование рабочих процессов в альтернативных системах, основанных на использовании открытого абсорбционного цикла	256
3.7.1. Теоретические основы испарительного охлаждения. Моделирование рабочих процессов в испарительных охладителях с учетом особенностей пленочных течений	256
3.7.1.1. Моделирование процессов совместного теплообмена при прямом испарительном охлаждении	256
3.7.1.2. Совместный теплообмен при испарительном охлаждении воды в градирне	271
3.7.1.3. Моделирование процессов совместного теплообмена при непрямым испарительном охлаждении в НИО.....	275
3.7.1.4. Моделирование процессов теплообмена в осушительной части АСКВ	276

3.8. Экспериментальное и теоретическое исследование процессов в ТМА альтернативных систем	278
3.8.1. Изучение пленочных течений по поверхности ТМА	278
3.8.1.1. Изучение пленочных течений по поверхности теплообменных аппаратов ТМА	278
3.8.1.2. Особенности пленочных течений по поверхностям насадок в испарительных охладителях. Состояние вопроса	279
3.8.2. Экспериментальное изучение пленочных течений в теплообменных аппаратах пленочного типа	281
3.8.3. Экспериментальное исследование испарительных охладителей прямого и непрямого типа	284
3.8.3.1. Оборудование и методика	284
3.8.3.2. Анализ результатов теоретического и экспериментального исследований	287
3.8.3.3. Многоступенчатые и комбинированные испарительные охладители (в составе НИО/НИО и НИО/ПИО)	297
3.8.3.4. Экспериментальное изучение характеристик СК-Р для альтернативных систем с прямой регенерацией абсорбента	299
3.9. Моделирование рабочих процессов в альтернативных холодильных и кондиционирующих системах и анализ возможностей альтернативных систем	300
3.9.1. Моделирование рабочих процессов в альтернативных системах	300
3.9.2. Анализ возможностей альтернативных систем	305
3.10. Выводы и рекомендации	314
3.10.1. Выводы и рекомендации к конструированию испарительных охладителей	314
3.10.2. Выводы и рекомендации к конструированию солнечных осушительно-испарительных охладителей	316

Раздел 4. ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Аннотация к разделу 4.....	318
Annotation to Section 4	319
4.1. Результаты промышленного внедрения альтернативных систем тепло-холодо-энергоснабжения. Характеристики альтернативных систем	320
4.1.1. Результаты промышленного внедрения солнечных систем теплоснабжения	320
4.1.2. Комбинированные системы тепло-энергоснабжения. Рациональная интеграция традиционных и альтернативных источников энергии	330
4.2. Результаты промышленного внедрения солнечных систем хладоснабжения и кондиционирования воздуха	338
4.3. Некоторые примеры использования испарительного охлаждения в холодильной технике	358

4.3.1. Использование испарительного охлаждения в бытовых и торговых холодильниках	359
4.3.2. Использование испарительного охлаждения в процессах получения льда	360
4.3.3. Внешняя рекуперация тепла в холодильном цикле	361
4.4. Солнечные системы прямого преобразования в электрическую энергию (фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии)	366
4.4.1. Типы фотоэлектрпреобразователей (ФЭП) солнечной энергии	366
4.4.2. Солнечные фотоэлектрические установки с концентраторами излучения	373
4.4.3. Ленточные поликристаллические кремниевые панели	374
4.4.4. Типы фотоэлектрических систем	375
4.4.5. Комбинированные фотоэлектротермические преобразователи (ФЭТП) солнечной энергии	381
4.4.6. Солнечный кондиционер с использованием термоэлектрического источника холода	381
4.4.7. Перспективы использования и тенденции развития производства фотоэлектрических преобразователей	384
4.5. Выводы и рекомендации	393
4.5.1. Выводы и рекомендации к конструированию систем преобразования солнечной энергии в электротепловую энергию	393
4.5.2. Выводы по материалам раздела	394
Раздел 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ	
Аннотация к разделу 5	396
Annotation to Section 5	397
5.1. Разработка концепции «Полный жизненный цикл - Life Cycle Assessment», как метода анализа новых решений и выбора перспективных направлений развития альтернативных систем. Базовые понятия и определения. Методология LCA	398
5.2. Экологический анализ альтернативных систем охлаждения и кондиционирования воздуха	405
5.2.1. Сравнительный анализ солнечных коллекторов традиционного (из цветных металлов) и полимерного типа	405
5.2.2. Анализ солнечных коллекторов-регенераторов СК-Р традиционного и нового типа	408
5.2.3. Сравнительный анализ альтернативных солнечных систем хладоснабжения	411
5.3. Выводы по материалам раздела	414
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ	415
GENERAL CONCLUSIONS	420
ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ	424

CONTENTS

Annotation	22
INTRODUCTION	27
Part 1. SOLAR SYSTEMS. INTERNATIONAL RESEARCH IN THE FIELD	
Annotation for Part 1	32
1.1. Solar Power Engineering	34
1.1.1. Types of Alternative Energy Sources; Current State of the Problem; Dynamics and Extent of Practical Application of Alternative Energy Sources in the World	34
1.1.2. Use of Solar Systems and Principal Possibilities of Their Application for Heating, Cooling, and Energy Supply	36
1.2. Solar Heating Systems. Key Types of Flat Solar Collectors for Alternative Systems	38
1.3. Solar Systems of Refrigerating and Air Conditioning	46
1.3.1. Solar Systems of Refrigerating and Air Conditioning: Overview of the Subject's Current State; General Requirements; Available Results, and Analysis of the Means	46
1.3.2. Direct Solar Regeneration Systems.....	71
1.3.3. Indirect Solar Regeneration Systems	74
1.3.4. Heat-Mass Exchange Apparatus for Alternative Systems	76
1.4. Summary	97
1.4.1. Conclusions	97
1.4.2. Key Problems and Trends of the Solar Energy Power Engineering	99
1.4.3. Major Tasks of Creation of Alternative Systems	99
Part 2. SOLAR SYSTEMS OF HEAT SUPPLY	
Annotation for Part 2	101
2.1. General Analysis of the Solar Radiation	103
2.1.1. Characteristics of the Solar Radiation. Direct and Diffuse Radiation	103
2.1.2. Determination of Solar Collector Optimal Pitch for Hot Water Supply System	107
2.2. Solar Systems with Flat Solar Collectors for Alternative Systems (New Developments)	112
2.2.1. Traditional Flat Solar Collectors (Using Non-ferrous Metals for Heat Receiver Construction).....	112
2.2.2. Flat Solar Collectors Made of Polymeric Materials	112
2.2.2.1. Analysis and Selection of Materials for Polymeric Solar Collectors	112
2.2.2.2. Polymeric Solar Collectors	116
2.2.2.3. Flat Solar Collectors-Regenerators for Alternative Solar Air Conditioning Systems with Direct Absorbent Regeneration	125

2.3. Simulation of Processes in Heliosystem with Flat Solar Collectors	134
2.3.1. Heliosystem with Natural Heat Medium Circulation	134
2.3.2. Simulation of Processes in Flat Polymeric Solar Collector	142
2.3.3. Heliosystem with Positive Medium Circulation	150
2.4. Results	163
2.4.1. Analysis of Theoretical Results for Solar Heating Contour with Usual So	163
2.4.2. Optimization of Polymeric Solar Collector Geometry	165
2.4.3. Heat Efficiency of Metallic Solar Collectors	164
2.4.4. Calculated Results	168
2.5. Experimental Study of Solar Collector Characteristics. Analysis of Test Results	170
2.5.1. Experimental Equipment, and Methods, and Research Program	170
2.5.2. Characteristics of Studied Modules	174
2.5.3. Methods and Program of the Research	174
2.5.4. Experimental Study Results. Integral and Dynamic Behavior Data	176
2.5.5. Comparison of Calculated and Experimental Data.....	117
2.6. Conclusions and recommendations	182

Part 3. SOLAR REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING (EVAPORATION DRYING) SYSTEMS

Annotation for Part 3	184
3.1. Basic Requirements for Alternative Systems Based on Open Absorption Cycle and Solar Energy	186
3.2. Development of New Circuit Solutions and Heat-Mass Exchange Apparatus for Alternative Systems	188
3.2.1. Circuit Solutions for Alternative Systems with Direct (Open) Absorbent Regeneration	189
3.2.2. Development of New Circuit Solutions for Alternative Systems with Indirect Absorbent Regeneration	205
3.2.3. General Thermodynamic Analysis of Open Absorption Systems	217
3.3. Development of Heat-Mass Exchange Equipment for Alternative Systems	219
3.3.1. Requirements for Heat-Mass Exchange Equipment Being a Part of Alternative Systems	219
3.3.2. Use of Polymeric Materials in Film-Type Heat-Mass Exchange Apparatus (Absorbers, Strippers, Solar Collectors)	225
3.4. Evaporative Coolers	227
3.4.1. Direct Evaporative Coolers (DEC) (Cooling Towers, Air Coolers)	227
3.4.2. Indirect Evaporative Coolers (IEC)	234
3.4.2.1. Basic Circuit Solutions	234
3.4.2.2. Regenerative-Type Coolers	238

3.4.2.3. Multistage and Combined Evaporative Coolers as a Part of Indirect Evaporative Cooler/Indirect Evaporative Cooler (IEC/IEC) or Indirect Evaporative Cooler/Direct Evaporative Cooler (IEC/DEC).....	239
3.5. Heat-Mass Exchange Equipment for Dehumidification Circuit of Alternative Solar Air Conditioning Systems (Absorber-Dehumidifiers and Stripper-Regenerators)	240
3.6. Working Mediums (Absorbents): Basic Requirements, and Thermophysical Properties of Selected Fluids.....	246
3.7. Simulation of Working Processes in Alternative Systems Based on Open Absorption Cycle	256
3.7.1. Theory of Evaporative Cooling. Simulation of Working Processes in Evaporative Coolers, Special Features of Film Flows Considered	256
3.7.1.1. Modeling of Joint Heat-Mass Exchange Processes at Direct Evaporative Cooling	256
3.7.1.2. Joint Heat-Mass Exchange during Evaporative Cooling Processes on Tower-Type Cooler	271
3.7.1.3. Modeling of Joint Heat-Mass Exchange Processes at Indirect Evaporative Cooling in Indirect Evaporative Cooler	275
3.7.1.4. Simulation of Heat-Mass Exchange Processes in Drying Part of Alternative Solar Air Conditioning System	276
3.8. Experimental and Theoretical Study of Processes in Heat-Mass Exchange Apparatus of Alternative Systems	278
3.8.1. Theoretical Study of Film Flows on the Surface of Heat-Mass Exchange Apparatus	278
3.8.1.1. Particular Features of Film Flows on the Surfaces of Packed Beds in Evaporative Coolers. Current State of the Matter	278
3.8.1.2. Wave Flow of Thin Layer of Viscous Fluid on Flat Vertical Surface with Repeated Rib Roughness. Mathematic Simulation	279
3.8.2. Experimental Study of Film Flows in the Film-Type Heat- Mass Exchange Apparatus	281
3.8.3. Experimental Study of Direct and Indirect Evaporative Coolers	284
3.8.3.1. Equipment and Methods	284
3.8.3.2. Analysis of Results of Theoretical and Experimental Studies	287
3.8.3.3. Multistage and Combined Evaporative Coolers (Indirect Evaporative Cooler/Indirect Evaporative Cooler, and Indirect Evaporative Cooler/Direct Evaporative Cooler)	297
3.8.3.4. Experimental Study of Solar Collector-Regenerators for Alternative Systems with Direct Absorbent Regeneration	299
3.9. Simulation of Working Processes in Alternative Refrigerating and Air Conditioning Systems, and Analysis of Capabilities of Alternative Systems ...	300
3.9.1. Simulation of Working Processes in Alternative Systems	300
3.9.2. Analysis of Capabilities of Alternative Systems	305
3.10. Conclusions and Recommendations for Designing Evaporation Drying Coolers	314

Part 4. ENGINEERING APPLICATIONS

Annotation for Part 4	318
4.1. Results of Industrial Introduction of Alternative Heating, Cooling and Energy Supply Systems. Characteristics of Alternative Systems	320
4.1.1. Results of Industrial Introduction of Solar Heat Supply Systems	320
4.1.2. Combined Heat and Energy Supply Systems. Rational Integration of Traditional and Alternative Energy Sources	330
4.2. Results of Industrial Introduction of Solar Cooling and Air Conditioning Systems	338
4.3. Some Examples of Usage of Evaporating Cooling in Refrigeration	358
4.3.1. Usage of Evaporating Cooling in Domestic and Trade Refrigerators	359
4.3.2. Usage of Evaporating Cooling in Ice-makers	360
4.3.3. Exterior Heat Recovery in a Refrigerating Cycle	361
4.4. Solar Systems with Direct Transformation into Electric Energy	366
4.5. Conclusions and recommendations	393

Part 5. CREATION OF SOLAR SYSTEMS: ENVIRONMENTAL ASPECTS

Annotation for Part 5	396
5.1. Development of Life Cycle Assessment Concept as a Method of Analyzing New Solutions and Selecting Perspective Trends of Development of Alternative Systems. Basic Terms and Definitions. Life Cycle Assessment Method for Analyzing Total Life Cycle of Product	398
5.2. Ecological Analysis of Alternative Cooling and Air Conditioning Systems	405
5.2.1. Comparative Analysis of Traditional (Made of Non-Ferrous Metals) and Polymeric Solar Collectors	405
5.2.2. Analysis of Traditional and New Solar Collector-Regenerators	408
5.2.3. Comparative Analysis of Alternative Solar Cooling Systems	411
5.3. Conclusions	414
GENERAL CONCLUSIONS	415
REFERENCES	424



АННОТАЦИЯ

Монография посвящена вопросам создания альтернативных систем тепло- холо- и энергоснабжения, в основном, солнечных. Основной материал является новым и получен авторами в процессе разработки и создания нового поколения солнечных систем жизнеобеспечения.

На основе сбалансированного совмещения традиционных и альтернативных источников энергии разработаны системы солнечного теплоснабжения (горячего водоснабжения и отопления) с использованием плоских солнечных коллекторов на металлической и полимерной основе. Разработаны научные и инженерные основы конструирования полимерных солнечных коллекторов на основе многослойных структур из поликарбоната. Полимерный солнечный коллектор имеет высокие эксплуатационные характеристики, низкую стоимость, малую массу, при полном отсутствии в его конструкции цветных металлов и длительной «жизни» на солнце. Полимерные солнечные коллекторы разработаны и представлены в монографии от постановки задачи до результатов натурных испытаний.

Разработана сбалансированная стратегия энергетического совмещения альтернативных (солнечных) и традиционных источников энергии (теплонасосные установки с разнохарактерными источниками низкопотенциального тепла, газовый бойлер, существующие котельные установки и др.), с учетом особенностей регионального климата, наличных (национальных) источников энергии и общего состояния традиционной энергетики. Подобные комбинированные солнечные системы горячего водоснабжения и отопления способны обеспечить автономное теплоснабжение, при общей экономии энергии до 70% (в пределах круглогодичной эксплуатации) и минимальном экологическом воздействии на окружающую среду. Они обладают инвариантностью конфигурации и способностью к оперативной перестройке с учетом климата, времени года и решаемых задач. Это одно из важнейших направлений в решении задачи глобального потепления.

Представлено новое поколение осушительно-испарительных холодильных и кондиционирующих систем (схемные решения и основы конструирования) на основе открытого абсорбционного цикла атмосферного или низкого давления (абсорбционные циклы открытого и смешанного типов) с обязательным (частичным) использованием солнечной энергии для регенерации абсорбента. Такие системы в последние годы вызывают значительный интерес в мировой науке и практике, поскольку являются наиболее перспективной альтернативой традиционным парокомпрессионным холодильным системам. Предварительное осушение воздушного потока позволяет использовать для охлаждения сред испарительный процесс и добиться глубокого охлаждения.

АННОТАЦИЯ

Разработаны основные схемные решения для осушительно-испарительных холодильных и кондиционирующих систем как с прямой (непосредственной), так и непрямой регенерацией абсорбента. Для систем с прямой регенерацией впервые разработан новый тип солнечного газожидкостного коллектора-регенератора.

В рамках этой темы разработана современная тепломассообменная аппаратура для альтернативных систем (жидкостные, газовые и газожидкостные солнечные коллекторы, абсорбер, десорбер, испарительные охладители прямого и непрямого типов) на основе полимерных многоканальных и многослойных структур. В ее основу положены результаты многолетних исследований авторов в области разработки и создания компактной аппаратуры пленочного типа. Разработаны научные основы (термодинамический анализ, тепломассообмен в процессах абсорбции, десорбции и испарительного охлаждения, гидро-аэродинамика течения сред) и основы конструирования тепломассообменной аппаратуры (на основе многоканальных насадочных структур с чередованием каналов для рабочих и вспомогательных процессов: абсорберы-осушители, десорберы-регенераторы и испарительные охладители газов и жидкостей прямого и непрямого типов); проведен выбор и анализ теплофизических свойств рабочих веществ - композитов, с учетом требуемой глубины охлаждения, нагрузки на греющий источник и влияния на конструктивные материалы; выполнен анализ конфигурации и состава греющего источника (при обязательной доле составляющей солнечной энергии).

Выполнен теоретический и экспериментальный анализ возможностей разработанных солнечной холодильных и кондиционирующих систем и показано, что, в достаточно широком диапазоне начальных параметров воздуха, альтернативная система вполне обеспечивает получение комфортных параметров воздуха только испарительными методами, не прибегая к парокомпрессионному охлаждению, и может, при этом, опираться на солнечную энергию, как основной греющий источник, обеспечивающий регенерацию абсорбента и поддержание непрерывности цикла.

Альтернативные тепловые и холодильные системы обеспечивают снижение энергозатрат и минимизацию вредных экологических последствий (проблемы глобального потепления и озонобезопасности). Представлена научная методология расчета («Полный Жизненный Цикл», «Life Cycle Assessment», LCA) и результаты сравнительного эколого-энергетического анализа предлагаемых и традиционных холодильных и кондиционирующих систем с учетом проблемы глобального потепления. LCA по определению SETAC – это «процесс оценки экологического воздействия продукции, путем установления и количественного определения используемых за полный жизненный цикл энергии и материалов, и соответствующих вредных выбросов в окружающую среду, а так же оценка возможности снижения экологического воздействия анализируемой продукции». Методология LCA разработана в соответствии со стандартами ISO 14040 (ISO 14040, 14041, 14042 и 14043). Рассчитанные в рамках LCA критерии можно использовать для выявления

потенциальных возможностей снижения антропогенной нагрузки разрабатываемого оборудования. Выполнение оценки с помощью метода LCA позволяет проанализировать антропогенное воздействие на стадиях производства, использования и утилизации рассматриваемого объекта (каждого отдельного элемента и системы в целом).

Для оценки перспективности применения разрабатываемого объекта (в данной работе это оборудование и системы жизнеобеспечения) были выбраны критерии, которые при нынешнем состоянии промышленности определяют направления ее дальнейшего развития: влияние полного жизненного цикла сравниваемых систем на глобальное изменение климата (соответствует полной эмиссии парниковых газов); истощение природных ресурсов при создании, эксплуатации и утилизации систем (соответствует полному потреблению органического топлива и минеральных ресурсов за полный жизненный цикл системы); ущерб, наносимый окружающей природной среде, т.е. соответствующие данному ущербу эко-индикаторы (учитывается отдельно ущерб человеческому здоровью, экосистеме и истощение природных ресурсов). Расчет выбранных критериев основан на методологии «ECO-INDICATOR 99» и анализ выполнялся с использованием базы данных программы «SimaPro-6».



This monograph focuses on matters of creation of solar heating, cooling and energy supply systems. The basic materials involved are new and were obtained by the authors in process of development and creation of a new generation of solar energy systems.

Based on a balanced combination of traditional and alternative energy sources, new solar heat supply systems (hot water supply and heating) were developed using flat solar collectors on a metal and polymer base. Scientific and engineering design principles of polymer solar collectors having a multilayer polycarbonate structure as a base were developed. A polymer solar collector is distinguished by its high performance, low cost, low weight, and besides, zero content of non-ferrous metals and "long life time in the sun". Polymer solar collectors are completely developed and described in this monograph, starting from the goal setting to the actual test results.

A balanced strategy for combination of alternative (solar) and traditional energy sources (heat pump systems with diverse low-grade heat sources, gas-fired boilers, existing boiler plants, etc.) was developed taking into account the local climate, available local energy sources and general condition of traditional power engineering. Such combined solar hot water supply and heating systems can ensure an autonomous heat supply with total energy saving of up to 70% and minimum harmful environmental impact. They are invariant with respect to their configuration and can be adjusted on-the-fly depending on the climate, season of the year and application purposes. This is one of the key lines in solving the problem of global warming effect.

A new generation of dehumidification dehydrating evaporating refrigeration and air conditioning systems is represented (circuit solutions and design principles) based on the atmospheric or low pressure absorption cycle (opened and mixed absorption cycles) with mandatory (partial) usage of solar energy for absorbent regeneration. Such systems have lately drawn a close attention of the researchers and experts all around the world as such systems are the most promising alternative to the traditional vapor compressing refrigerating systems. Preliminary dehumidification dehydration of the airflow enables the application of the evaporating process for cooling the mediums and permits to achieve deep cooling.

Within this topic, state-of-the-art heat-mass exchange apparatuses were developed for the alternative systems (solar collectors, absorber, desorber, direct and indirect evaporative coolers) based on multi-channel polymeric structures. The results of many years of the authors' researches in the field of design and development of compact film-type equipment were put into it. Scientific fundamentals (thermodynamic analysis, heat-mass exchange in absorption, desorption and evaporation cooling processes, hydro-aerodynamics of medium flow) and design principles of heat-mass exchange apparatuses (based on multi-channel packed constructions with channel alternation for main and auxiliary processes: absorber-dehumidifiers dehydrators, desorber-regenerators and indirect evaporative coolers)

were developed; selection and analysis of thermophysical properties of active composite substances performed considering the required cooling depth, load on the heating source and the impact on structural materials; configuration and composition of a heating source (with solar energy as a mandatory constituent) analyzed.

Alternative heating and refrigerating systems reduce energy consumption and harmful environmental impact (global warming effect and ozone depletion). A scientific assessment methodology (Life Cycle Assessment, LCA) and results of comparative environmental and energy efficiency assessment of suggested alternative and traditional refrigerating and air conditioning systems taking into account the global warming effect are represented. LCA, as defined by SETAC, is an estimation of environmental impact of a product through identification and quantitative assessment of energy and materials used along its life cycle, and related harmful emissions into the environment, as well as an estimation of possibility to reduce the harmful environmental impact of the given product". The LCA methodology was developed in compliance with ISO 14040 (ISO 14040, 14041, 14042, and 14043). Criteria estimated with LCA can be used for identification of possibilities to reduce the anthropogenic load produced by the equipment developed. The assessment with LCA method allows analyzing the anthropogenic effect at the various stages of production, usage and reclaim of a given object.

To assess the prospects of application of the developed object (in this work, these are energy supply systems and equipment), the criteria were used, which define the ways of future development of the industry as it is now: the impact of a complete life cycle of compared systems on the global climate change (corresponds to the total emission of greenhouse gases); depletion of natural resources in process of creation, usage and reclaim of the systems (corresponds to the total consumption of organic fuel and mineral resources along the life cycle of the system); damage caused to the environment, i.e. the eco-indicators corresponding to this damage (damage to the human health, to the ecosystem and depletion of natural resources are considered separately). The assessment of chosen criteria was based on ECO-INDICATOR 99 methodology, and the analysis was performed using the database of SIMAPRO-6 software.



Взаимосвязанные проблемы энергетики экологии и экономики. Изменение климата земли и проблема глобального потепления

Существующая тенденция к истощению топливно-энергетических ресурсов, рост цен на производство энергии и глобальные экологические проблемы стимулируют необходимость внедрения энергосберегающих технологий на основе возобновляемых экологически чистых источников энергии. В этом направлении ориентированы международные программы INTAS и TESIS, однако доля нетрадиционных видов энергии, используемых для энергосберегающих технологий, все еще остается незначительной.

Многие детали изменения климата до сих пор остаются неясными. Однако большинство ученых склоняется к выводу, что определяющим фактором глобального потепления является рост парникового эффекта, увеличение влияния которого связано с возрастающей концентрацией в атмосфере парниковых газов. Концентрация CO₂ в атмосфере в настоящее время приблизительно на 30% выше сравнительно с доиндустриальным периодом развития цивилизации. Увеличилась концентрация в атмосфере и других парниковых газов: метана (приблизительно на 150%), закиси азота, хлорфторуглеродов, аэрозолей, образующихся при сжигании топлива, содержащего серу. Природа уже не в состоянии справиться с антропогенным влиянием выбросов парниковых газов, т.к. их количество намного выше ее адапционных возможностей и значительно превышает максимально возможную разомкнутость биотического круговорота для диоксида углерода и других парниковых газов.

Прогноз IPCC (Межправительственный комитет по изменению климата) на ближайшее будущее выглядит достаточно пессимистически [60]: ожидается увеличение средней глобальной температуры воздуха на поверхности Земли к 2100 г на 1–3.5 °C, по сравнению с 1990г., и повышение уровня Мирового океана приблизительно на 15–95 см. от сегодняшнего уровня (по различным оценкам – прогнозационным моделям – средняя глобальная температура за период с 1990 по 2100 гг. может увеличиться на 1.4–5.8 °C; за период 2000 – 2100 гг. – на 2.5–4.7 °C). Необходимо отметить, что колебания среднеглобальной температуры за последние 300 тыс. лет не превышали 7 °C, а переход от последнего ледникового периода, максимум которого наблюдался 20 тыс. лет назад, сопровождался повышением среднеглобальной температуры всего на 5 °C [81].

На конференции ООН по окружающей среде в 1992 г. в Рио-де-Жанейро был декларирован принцип экоустойчивого развития (Sustainable Development), т.е. концепция «самовосстанавливающегося» или «устойчивого» развития. В рамках этого принципа, контроль за эмиссией парниковых газов (и прежде всего CO₂) является приоритетным направлением. С целью сокращения эмиссии парниковых газов на третьей сессии конференции сторон UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change – объединенной

национальной конвенции по изменению климата) в декабре 1997 г. в Киото (Япония) был принят Киотский протокол [211]. В нем сформулирована стратегия для различных стран по ограничению антропогенной эмиссии основных парниковых газов: CO_2 – углекислый газ, N_2O – закись азота, CH_4 – метан, ГФУ и SF_6 – гексафторид серы. Выполнение положений Киотского протокола должно привести к стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на уровне безопасном для климата Земли. Этот уровень с одной стороны должен быть достаточным для обеспечения возможности естественной адаптации экосистемы к климатическим изменениям, а с другой - должен гарантировать, что его достижение не будет угрожать производству продуктов питания. При этом должна сохраняться возможность продолжения экономического развития экоустойчивым образом.

По оценкам климатологов, критическая скорость изменения среднеглобальной температуры не должна превышать 0.1°C в десятилетие, среднеглобальная температура не должна быть более чем на 1°C выше температуры в доиндустриальный период развития цивилизации. Уровень Мирового океана должен быть не более чем на 20 см выше по сравнению с уровнем в тот же период.

Поэтому государствам-членам Европейского содружества настоятельно рекомендуется вводить новые законодательные акты в области экологии, такие как: CO_2 /энергетический налог (углеродный налог), ужесточать нормы допустимой эмиссии галоидопроизводных хладагентов и налогообложение на выпуск оборудования с низким классом энергетической эффективности. Очевидно, что принятая на конвенции в Киото программа по ограничению выбросов парниковых газов будет способствовать появлению законодательных актов, направленных на сбережение энергетических ресурсов, разработку эффективных технологий, дальнейшее совершенствование нормативной базы энергопотребления.

Следует подчеркнуть, что ресурсо- и энергосбережение являются двумя сторонами единого процесса: с одной стороны ведут к снижению эмиссии парниковых газов и оздоровлению окружающей среды, с другой стороны – к достижению экологической сбалансированности в функционировании национальной экономики. Радикальным механизмом экономического влияния на реализацию политики охраны окружающей среды является жесткая эколого-энергетическая экспертиза производств и разработка механизма экономических санкций за превышение квот на эмиссию парниковых газов. Поэтому для комплексной оценки влияния промышленности на окружающую среду необходима разработка соответствующего нормативно-методического обеспечения.

Роль альтернативной энергетики в решении вопросов энергообеспечения и экологической безопасности

Основные положения Киотского протокола и сформулированные для Европейского союза рекомендации по развитию экологически устойчивой энергетики заставляют по-новому рассматривать накопленный мировой опыт в использовании возобновляемых источников энергии. Интерес к нетрадиционным ВИЭ вызван отрицательными тенденциями развития традиционной энергетики, обусловленными, в основном, двумя факторами – быстрым истощением природных ресурсов и загрязнением окружающей среды. По данным ООН, уже в 2083 – 2500 гг. предполагается истощение основного вида ископаемого топлива – залежей угля, а к середине 21 века – урана.

В работе [81] рассмотрен сценарий использования НВИЭ в период до 2050г., исходя из существующих технологий и разработок. В период до 2020 г. предпочтение при производстве электроэнергии будет отдано ветроэнергетике ВЭУ, а доля ее производства с 570 ТВт ч/год в 2015 возрастет в энергобалансе до 50% в 2040 г. и до 65% к 2050 г. Европейский сценарий производства электроэнергии на базе парогазовых ЭС и ТЭС с использованием природного газа, биомассы и угля, а также установок на НВИЭ приведет к снижению выбросов CO_2 с 293 млн. т/год в 1999 г. до 276 млн. т/год к 2020 г. Последующее снижение выбросов CO_2 будет более существенным и составит в 2050 г. более 70 млн. т/год, т. е. около 25%. Интенсивность выбросов CO_2 будет равна $0.125 \text{ кг}/(\text{кВт ч})$. В области теплоснабжения сейчас 88% тепла производится с использованием газа, мазута, биомассы и электроэнергии, а 12% за счет ТЭС; к 2050 г. потребление газа, мазута и биомассы сократится на 32%, а местное производство тепла за счет солнечных установок увеличится на 23%.

К возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) относят ветровую энергетику, биоэнергетику (энергия, получаемая из отходов животноводства и растениеводства, а также энергия из органических отходов жизнедеятельности человека), энергия Мирового океана, малая гидроэнергетика, энергия горячих подземных вод, солнечная энергетика.

Современное состояние и требования к новому поколению холодильных и кондиционирующих систем

В странах ЕС на долю холодильной техники и систем кондиционирования воздуха в среднем приходится до 25-30% всего энергопотребления, что определяет суммарный вклад холодильной отрасли в проблему глобального потепления. Для Украины и Польши, как и многих других европейских стран, с учетом солнечного потенциала (уровня солнечной радиации и количества солнечных дней в году), одним из приоритетных направлений развития альтернативной энергетики является солнечная энергетика. Развитие солнечной энергетики идет в направлениях:

- преобразование солнечной энергии в тепловую энергию в системах горячего водоснабжения и отопления;

- преобразование солнечной энергии в электрическую (фотовольтажные преобразователи);
- создание на основе солнечной энергии комбинированных систем тепло-холодо и энергообеспечения, рационально интегрирующих возможности традиционной и альтернативной энергетики;
- создание на основе солнечной энергии систем охлаждения и кондиционирования воздуха.

Усугубляющиеся взаимосвязанные проблемы энергетики и экологии выдвигают новые требования к аппаратуре холодильных систем и систем комфортного и технологического кондиционирования воздуха СКВ, в первую очередь, снижения энергозатрат и антропогенного воздействия на среду обитания. К наиболее перспективному и долгосрочному решению в этом направлении относится создание альтернативных систем на основе нетрадиционных источников энергии, в первую очередь, солнечной энергии, и испарительных методов охлаждения сред.

Испарительное охлаждение эффективно в условиях сухого и жаркого климата (при влагосодержании наружного воздуха $x_r < 12\text{--}14\text{ г/кг}$). Особый интерес представляет разработка испарительных охладителей непрямого типа НИО, в которых охлаждение воздушного потока может достигаться без прямого контакта с водой; перспективно создание многоступенчатых и комбинированных испарительных охладителей, позволяющих существенно снизить достигаемый уровень охлаждения. Практическое использование испарительных методов в холодильной технике и СКВ, являясь оптимальной интеграцией методов естественного и искусственного охлаждения сред, требует решения нескольких принципиальных вопросов: расширения климатической области использования самих методов испарительного охлаждения сред; повышения компактности и снижения энергопотребления теплообменных аппаратов (затраты на транспорт теплоносителей), входящих в такие альтернативные системы.

Наиболее перспективно включение испарительных охладителей в состав солнечных холодильных систем (осушительно-испарительных). Для создания солнечных холодильных и кондиционирующих систем перспективно использование абсорбционного цикла, заключающегося в предварительном осушении воздуха и последующем его использовании для испарительного охлаждения сред (осушительно-испарительный охладитель). Наиболее перспективен открытый абсорбционный цикл, основанный на использовании жидких и твердых сорбентов и возможности использования солнечной энергии (полностью, или в качестве долевого теплового источника) для обеспечения регенерации сорбента; предпочтительной областью практического использования таких альтернативных систем, является солнечное кондиционирование воздуха, что обусловлено известной корреляцией между инсоляцией и требуемым уровнем охлаждения (комплексом термовлажностных параметров воздуха для АСКВ) и сравнительно невысокими температурами

регенерации абсорбента. К основным проблемам развития осушительно-испарительных систем, требующим решения для перспективного выхода на коммерческий рынок, следует отнести: подбор рабочих тел (компози́тов), обеспечивающих высокую поглощательную способность, при минимальном неблагоприятном воздействии на конструктивные материалы; создание эффективного нагревательного контура для регенерации абсорбента, что связано, в первую очередь, с разработкой эффективных солнечных коллекторов, способных обеспечить требуемый температурный уровень регенерации абсорбента; снижение энергозатрат на транспорт теплоносителей (воздушных потоков, воды, раствора абсорбента), что может быть достигнуто уменьшением общего числа теплообменных аппаратов в схеме путем совмещения в каждом из них нескольких процессов. Возможно создание автономных систем солнечного жизнеобеспечения (тепло- и хладоснабжения, кондиционирования воздуха), частично, либо полностью базирующихся на использовании солнечной энергии.

Развитие осушительно-испарительных систем позволяет снять климатические ограничения применимости испарительных методов охлаждения и существенно улучшить энергетические и экологические показатели альтернативных систем АСКВ и АХС, в целом.

Впервые в европейской практике в работе выполнен общий экологический анализ новых решений в области холодильных и кондиционирующих систем с использованием методологии и базы данных «Полный жизненный цикл» (Life Cycle Assessment, международные стандарты ISO (ISO 14040, 14041, 14042 и 14043, «ECO-INDICATOR 99», база данных программы «SIMAPRO-6»); работа выполнялась совместно с Австралийским исследовательским центром (Commonwealth Science and Industrial Research Organisation, 3072, Australia). Такой анализ охватывает все стадии существования изделия, от извлечения сырья, до полной утилизации по завершению срока службы, и позволяет не только оценить вредное влияние на среду обитания, но выбрать наиболее щадящий сценарий разработки и эксплуатации. Выбор и разработка альтернативных холодильных и кондиционирующих систем по двум основным анализируемым критериям (влияние на истощение природных ресурсов и вклад в глобальное потепление) будет способствовать реализации законов об энергосбережении и Киотского протокола, направленного на снижение эмиссии парниковых газов.

