



А.Н. Горин
А.В. Дорошенко
В. П. Данько

**ТЕПЛОМАССООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ
С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ ДЛЯ
ТРАДИЦИОННЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

620.9
Г 69

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭКОНОМИКИ И ТОРГОВЛИ
имени МИХАИЛА ТУГАН-БАРАНОВСКОГО

А.Н. Горин, А.В. Дорошенко, В. П. Данько

ТЕПЛОМАССОБМЕННЫЕ АППАРАТЫ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ ДЛЯ ТРАДИЦИОННЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Испарительное охлаждение,
осушение и кондиционирование воздуха

(теория, эксперимент, практика)

Донецк
«Світ книги»
2013

Рекомендовано к печати Ученым советом

*Донецкого национального университета экономики и торговли
имени Михаила Туган-Барановского, протокол № 8 от 27.03.2013*

Рецензенты:

Титлов А.С. — директор Института холода, криотехнологий и экоэнергетики имени проф. В.С. Мартыновского Одесской национальной академии пищевых технологий, заведующий кафедрой теплоэнергетики и трубопроводного транспорта теплоносителей, доктор технических наук, профессор;

Сукманов В.А. — директор Института пищевых производств Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, заведующий кафедрой общинженерных дисциплин, доктор технических наук, профессор;

Потапов В.А. — заведующий кафедрой холодильной и торговой техники Харьковского государственного университета питания и торговли, доктор технических наук, профессор.

Горин А.Н. и др.

Г 69 Тепломассообменные аппараты с подвижной насадкой для традиционных и альтернативных энергетических систем. Испарительное охлаждение, осушение и кондиционирование воздуха : теория, эксперимент, практика / А.Н. Горин, А.В. Дорошенко, В.П. Данько. — Донецк : Світ книги, 2013. — 327 с.: табл., рис.

ISBN 978-966-2747-79-9

Монография посвящена разработке, теоретическому и экспериментальному исследованию и инженерии в области компактной тепломассообменной аппаратуры для традиционных и альтернативных (солнечных) энергетических систем. Это касается воздухо- и водоохладителей (градирен), увлажнителей, осушителей и очистителей воздуха (скрубберов). Основной материал получен авторами в процессе разработки и создания нового поколения тепломассообменных аппаратов, способных устойчиво эксплуатироваться в любых средах, включая повышенную опасность загрязнений и отложений на рабочих поверхностях, а также при работе с растворами абсорбентов. Разработаны испарительные охладители сред (воздухо- и водоохладители), комбинированные системы тепло- хладоснабжения, осушения и кондиционирования воздуха на основе совмещения солнечного и традиционных источников энергии. Представлено новое поколение солнечных осушительно-испарительных холодильных систем и систем кондиционирования воздуха на основе открытого теплоиспользующего абсорбционного цикла и разработаны тепломассообменные аппараты с подвижным псевдооживленным слоем насадки («газ-жидкость-твердое тело») для этих систем. Экологические достоинства новых разработок оцениваются на основе современной концепции «Полный жизненный цикл» (Life Cycle Assessment).

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

ГАЛУЗЬСЬКИЙ

УДК 620.92:621.565.58

ББК 31.392

ВІСНИК

© А.Н.Горин, А.В. Дорошенко, В.П. Данько, 2013

ISBN 978-966-2747-79-9

x 5 36 936

A.N. Gorin, A.V. Doroshenko, V.P. Danko

**HEAT-MASS EXCHANGERS
WITH MOVABLE NOZZLE
FOR TRADITIONAL AND ALTERNATIVE
ENERGY SYSTEMS**

**Evaporative cooling, dehumidification
and conditioning of air**

(theory, experiment, practice)

Donetsk
"World of Books"

2013

СОДЕРЖАНИЕ

Gorin A.N., Doroshenko A.V., Danko V.P.

Heat-mass exchangers with movable nozzle for traditional and alternative energy systems. Evaporative cooling, dehumidification and conditioning of air : theory, experiment, practice. — Donetsk : World of Books, 2013. — 327 p.

The monograph is devoted to the development, theoretical and experimental research and engineering in the field of compact heat-mass exchange devices for traditional and alternative (solar) energy systems. This applies to air and water coolers (coolers), humidifiers, dehumidifiers and air purifiers (scrubbers) Basic material obtained by the authors in the development of a new generation heat-mass exchangers designed for stable operation in all environments, including increased risk of dirt and deposits on working surfaces, and for working with the absorbent solution. Evaporative coolers (air-and water coolers), combined systems of heat and cold supply, as well as dehumidification and conditioning of air have been developed on the basis of combination of solar and conventional energy sources. A new generation of solar drainage-evaporative cooling systems and air conditioning systems based on open-loop heat-absorption was introduced; heat-mass exchangers with movable fluidized bed of nozzle ("gas-liquid-solid") for these systems were developed. The environmental advantages of new developments are assessed on the basis of the modern concept of "complete life cycle» (Life Cycle Assessment).

For experts in the field of energy, heat and cold supply systems and air conditioning, as well as for teachers and students universities.

© A.N. Gorin, A.V. Doroshenko, V.P. Danko, 2013

Основные условные обозначения	13
Аннотация	15
Annotation	19

Введение

Современное состояние и динамика практического использования альтернативных источников энергии.....	22
---	----

Раздел 1. ОБЗОР-ПОСТАНОВКА РАБОТЫ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Современные тенденции развития альтернативной (солнечной) энергетики.....	26
1.2. Солнечные сорбционные системы осушительно-испарительного типа для систем кондиционирования воздуха и охлаждения сред	32
1.2.1. Основные тенденции развития абсорбционных систем, проблемы и перспективы	32
1.2.2. Типы гелиосистем и солнечных коллекторов, требования к ним ...	35
1.2.3. Многофункциональные сорбционные системы осушительно-испарительного типа (системы тепло- хладоснабжения и кондиционирования воздуха) с солнечной регенерацией сорбента	43
1.2.3.1. Солнечные адсорбционные системы.....	47
1.2.3.2. Солнечные абсорбционные системы с непрямой регенерацией сорбента.....	49
1.3. Теплообменная аппаратура с подвижной насадкой для солнечных осушительно-испарительных холодильных систем. Состояние вопроса.....	68
1.3.1. Перспективность использования подвижной насадки в теплообменных аппаратах для контактной обработки газов и	

жидкостей. Идеи развития с учетом специфики реализуемых в солнечных системах процессов.....	68
1.3.2. Современное оформление аппаратов с подвижной насадкой и элементов подвижного слоя (обзор существующих решений и новые разработки).....	78
1.3.2.1. Разработанные принципы конструктивного оформления аппаратов с подвижной насадкой.....	78
1.3.2.2. Разработанные типы элементов насадки для аппаратов с подвижной насадкой.....	83
1.4. Выводы и задачи исследования.....	86

Раздел 2. РАЗРАБОТАННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ, ТЕПЛОМАСООБМЕННЫХ АППАРАТОВ И СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

2.1. Основные принципы построения солнечных холодильных систем на основе открытого абсорбционного цикла и требования к ним.....	100
2.2. Разработка тепломассообменной аппаратуры для солнечных абсорбционных систем.....	108
2.2.1. Основные требования к тепломассообменным аппаратам для абсорбционных систем.....	108
2.2.2. Состояние вопроса в области тепломассообменных аппаратов с подвижной насадкой. Разработка основного принципа конструктивного оформления для аппаратов с подвижной насадкой абсорбционных систем.....	113
2.3. Разработка новых конструкций металлополимерных солнечных коллекторов. Экспериментальное исследование рабочих характеристик.....	126
2.3.1. Типы солнечных коллекторов, требования к ним.....	126
2.3.2. Разработка металлополимерных солнечных коллекторов.....	128
2.3.3. Экспериментальные исследования металлополимерных солнечных	

коллекторов.....	141
2.4. Разработка новых схемных решений солнечных осушительно-испарительных систем.....	145
2.5. Выводы по второму разделу.....	160

Раздел 3. РАЗРАБОТКА ТЕПЛОМАСООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ

3.1. Основные требования к тепломассообменным аппаратам для абсорбционных систем.....	163
3.2. Экспериментальное исследование гидроаэродинамики.....	166
3.2.1. Экспериментальное оборудование.....	166
3.2.2. Экспериментальное изучение гидроаэродинамики в слое подвижной насадки.....	173
3.3. Экспериментальное изучение процессов тепломассообмена в слое подвижной насадки в аппаратах осушительного и охлаждающего контуров солнечных холодильных систем.....	201
3.3.1. Изучение процессов тепломассообмена при испарительном охлаждении жидкости в слое подвижной насадки.....	201
3.3.1.1. Совместный тепломассообмен при испарительном охлаждении..	201
3.3.1.2. Эффективность процесса испарительного охлаждения.....	207
3.3.1.3. Экспериментальное изучение процессов в испарительных охладителях.....	217
3.3.1.4. Анализ полученных результатов. Тепломассоперенос в системе..	219
3.3.2. Изучение процессов тепломассообмена в слое подвижной насадки осушительного контура солнечных систем.....	232
3.3.2.1. Рабочие вещества для солнечных абсорбционных систем.....	232
3.3.2.2. Экспериментальное изучение процессов тепмассообмена в слое	

подвижной насадки осушительного контура солнечных систем.....	234
3.4. Выработка рекомендаций по режимным и конструктивным параметрам для аппаратов с подвижной насадкой.....	240
3.5. Выводы по третьему разделу.....	245
Раздел 4. ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ. РАЗРАБОТКА ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗРАБОТАННЫХ АППАРАТОВ И СИСТЕМ	
4.1. Градирни с подвижной насадкой для холодильной техники и энергетических (традиционных и альтернативных) систем.....	250
4.2. Солнечные системы горячего водоснабжения	254
4.3. Разработка и анализ характеристик и возможностей альтернативных систем	260
4.4. Сравнительная энерго-экологическая оценка новых разработок.....	270
4.4.1. Методология «Полный жизненный цикл», как методика анализа новых решений и выбора перспективных направлений развития альтернативных систем	271
4.4.2. Сравнительный экологический анализ разработанных металлополимерных солнечных коллекторов	275
4.5. Выводы по четвертому разделу.....	281
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ	287
MAIN CONCLUSIONS	292
ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ	296

CONTENT

Basic symbols	13
Annotation	15
Annotation	19
Foreword	
Current state and dynamics of the practical use of alternative energy sources...	22
Section 1. REVIEW-STATEMENT OF WORK AND MAIN OBJECTIVES OF RESEARCH	
1.1. Modern trends in the alternative (solar) energy sector.....	26
1.2. Drainage-evaporative type solar sorption systems for air conditioning systems and cooling of medium.....	32
1.2.1. Major trends of absorption systems development, problems and prospects.....	32
1.2.2. Types of solar power systems and solar collectors, their requirements....	35
1.2.3. Multifunctional sorption systems of drainage-evaporative type (systems of heat and cold supply and air conditioning) with solar regeneration of sorbent.....	43
1.2.3.1. Solar absorption systems.....	47
1.2.3.2. Solar absorption systems with indirect regeneration of absorbent.....	49
1.3. Heat-mass exchangers with movable nozzle for solar drainage-evaporative refrigeration systems. State of the problem.....	68
1.3.1. Prospects of usage of movable nozzle in heat-mass exchangers for contact treatment of gasses and liquids. Ideas of development considering specific of ongoing processes in solar systems.....	68
1.3.2. Modern design of devices with movable nozzle and elements of moving layer (review of existing solutions and new developments).....	78
1.3.2.1. Developed principles of structural design of devices with movable nozzle.....	78

1.3.2.2. Developed types of nozzle elements for devices with movable nozzle.....	83
1.4. Conclusions and research problems.....	86

Section 2. DEVELOPED SOLUTIONS FOR SOLAR SYSTEMS B HEAT-MASS EXCHANGE DEVICES AND SOLAR COLLECTORS

2.1. The basic principles and requirements of solar refrigeration systems based on open-cycle absorption.....	100
2.2. Development of heat-mass exchange devices for solar absorption systems.	108
2.2.1. The basic requirements to heat-mass exchange devices for absorption systems.....	108
2.2.2. State of the problem in field of heat-mass exchangers with movable nozzle. Development of guidelines for the constructive design of devices with movable nozzle of absorption systems.....	113
2.3. Development of new designs of metal-polymer solar collectors. Experimental study of operation parameters.....	126
2.3.1. Types of solar collectors, their requirements.....	126
2.3.2. Development of metal-polymer solar collectors.....	128
2.3.3. Experimental studies of metal-polymer solar collectors.....	141
2.4. Development of new schematics of solar drying-evaporative systems.....	145
2.5. Conclusions of Section 2.....	160

Section 3. DEVELOPMENT OF HEAT-MASS EXCHANGE DEVICES WITH MOVABLE NOZZLE FOR ALTERNATIVE SOLAR REFRIGERATION SYSTEMS. THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF OPERATION PROCESSES.

3.1. Basic requirements to heat-mass exchange devices for absorption systems.....	163
3.2. Experimental study of hydrodynamics.....	166
3.2.1. Experimental equipment.....	166

3.2.2. Experimental study of hydrodynamics in a bed of movable nozzle.....	173
3.3. Experimental study of heat-mass exchange processes in a bed of movable nozzle in devices of drying and cooling circuits of solar refrigeration systems...	201
3.3.1. The study of heat-mass exchange processes by evaporative cooling of liquid in a bed of movable nozzle.....	201
3.3.1.1 Combined heat-mass exchange by evaporative cooling.....	201
3.3.1.2. Effectiveness of evaporative cooling process.....	207
3.3.1.3. Experimental study of processes in evaporative refrigerators.....	217
3.3.1.4. Analysis of obtained results. Heat-mass transfer in system.....	219
3.3.2 The study of heat-mass exchange processes in a bed of movable nozzle of drying circuit of solar systems.....	232
3.3.2.1. Working substances for solar absorption systems.....	232
3.3.2.2. Experimental study of heat-mass exchange processes in a bed of movable nozzle of drying circuit of solar systems.....	234
3.4. Making recommendations for operational and design parameters of devices with movable nozzle.....	240
3.5. Conclusions of Section 3.....	245

Section 4. ENGINEERING APPLICATIONS. DEVELOPMENT OF EVAPORATIVE COOLERS WITH MOVABLE NOZZLE. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF DEVELOPED DEVICES AND SYSTEMS

4.1. Cooling towers with movable nozzle for refrigeration and energy systems (traditional and alternative).....	250
4.2. Solar systems of hot water supply.....	254
4.3. Design and analysis of characteristics and capabilities of alternative solar refrigeration systems.....	260
4.4. Comparative energy-environmental assessment of new developments.....	270
4.4.1. Methodology «complete life cycle», as a method of analyzing of new solutions and selection of promising areas for alternative systems.....	271

4.4.2. Comparative environmental analysis of developed polymer solar collectors.....	275
4.5. Conclusions of Section 4.....	281
MAIN CONCLUSIONS.....	292
LITERARY SOURCES.....	296

АННОТАЦИЯ

Монография посвящена разработке, теоретическому и экспериментальному исследованию и созданию инженерных основ в области компактной тепломассообменной аппаратуры для традиционных и альтернативных (солнечных) энергетических систем. Основным материалом является новый и получен авторами в процессе разработки и создания нового поколения тепломассообменных аппаратов, как в автономном варианте их практического использования (вентиляторные градирни и воздухоохладители для энергетики, холодильной и криогенной техники), а также при создании солнечных систем жизнеобеспечения (тепло-хладоснабжение, осушение и кондиционирование воздуха и др.).

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 металлополимерных солнечных коллекторов на основе многослойных многоканальных структур. Металлополимерный солнечный коллектор имеет высокие эксплуатационные характеристики, низкую стоимость, малую массу, при полном отсутствии в его конструкции цветных металлов и длительной «жизни» на солнце. 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 с учетом особенностей регионального климата, географических (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 парокompрессионным холодильным системам. Предварительное осушение воздушного потока позволяет использовать для охлаждения сред испарительный процесс и добиться глубокого охлаждения. Разработаны основные схемные решения для осушительно-испарительных холодильных и кондиционирующих систем как с прямой (непосредственной), так и непрямой регенерацией абсорбента.

В рамках этой темы разработана современная тепломассообменная аппаратура для альтернативных систем (жидкостные солнечные коллекторы, абсорбер, десорбер, испарительные охладители прямого и непрямого типов). Разработаны научные основы (термодинамический анализ, тепломассообмен в процессах абсорбции, десорбции и испарительного охлаждения, гидроаэродинамика течения сред) и основы конструирования тепломассообменной аппаратуры на основе тепломассообменных аппаратов с подвижным псевдооживленным слоем насадки («газ-жидкость-твердое тело»), обеспечивающих устойчивую эксплуатацию оборудования в условиях любых возможных загрязнений рабочих поверхностей, а также при работе с использованием водных растворов абсорбентов при высоких концентрациях. Это аппаратура осушительного контура солнечных систем (абсорберы-осушители, десорберы-регенераторы) и охладительного контура

(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 солнечных 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 парокompрессионному 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 экоиндикаторы (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».

ANNOTATION

The monograph is devoted to the development, theoretical and experimental research and creation of engineering principles in the field of compact heat-mass exchange devices for traditional and alternative (solar) energy systems. The main material is new and obtained by the authors in the development of a new generation of heat-mass exchangers as an autonomous version of their application (cooling towers and air coolers for power, refrigeration and cryogenic engineering), as well as to create solar systems of life support (heat-cold supply, dehumidifying and conditioning of air, etc.).

Solar heating systems (hot water and heating) with flat solar collectors on metal and polymer base have been developed based on a balanced combination of traditional and alternative energy sources. The scientific and engineering principles were developed in terms of design of metal-polymer solar collectors based on multilayer multichannel structure. Metal-polymer solar collector has a high performance, low cost, low weight, as well as complete absence of nonferrous metals in its design and long "life" in the sun. Solar collectors are designed and presented in a monograph starting from initial task till the results of field tests.

A balanced strategy of combining alternative energy (solar) and traditional sources of energy has been developed considering the local climate features, available (national) energy sources and the general state of traditional energy sector. Such combined solar hot water and heating systems are able to provide independent heating with total energy savings of up to 70% (within a year-round operation) and minimal ecological impact on the environment. They have the invariance and the ability of the operational readjustment including climate, season, and tasks. This is one of the most important areas in the solving of global warming problem.

A new generation of drainage-evaporative cooling and air conditioning systems (schematics and design principles) has been introduced based on open cycle absorption of atmospheric or low pressure (open and mixed types of absorption cycles) with optional (partial) usage of solar energy for regeneration of the absorbent. In recent years such systems attract considerable interest in the world of science and

practice, because they are the most promising alternative to conventional vapor compression refrigeration systems. Preliminary drying of air allows using evaporative process for cooling of media, achieving deep cooling as well. Basic schematics have been developed for drainage-evaporative cooling and air conditioning systems, both with direct (immediate) and with indirect regeneration of the absorbent.

A range of modern heat-mass exchange devices for alternative systems (liquid solar collectors, absorber and stripper, evaporative coolers of direct and indirect types) has been developed within this topic. The scientific bases (thermodynamic analysis, heat-mass exchange in absorption, desorption, and evaporative cooling processes, hydro-aerodynamics of medium flow) have been laid down; principles have been developed regarding design of heat-mass exchange devices based on heat-mass exchangers with movable fluidized bed of nozzle ("gas-liquid-solid") that provide a steady operation of equipment in any possible contamination of the surfaces, as well as when working with aqueous absorbent solution at high concentrations. These are devices of drying circuit of solar systems (absorbers, driers, strippers, regenerators) and of the cooling circuit (evaporative coolers of gases and liquids of direct and indirect types). Selection and analysis of thermal properties of working materials – composites was performed, taking into account required depth of cooling, load on the heating source and effect on structural materials; the analysis of configuration and composition of the heating source (considering the mandatory part of solar energy) was performed as well.

There was performed a theoretical and experimental analysis of the opportunities developed solar systems of refrigeration and air conditioning; as result it was shown that, within a wide range of initial air parameters, alternative system provides quite comfortable air conditions only by means of evaporation methods, without the vapor compression refrigeration, and can, thus, be based on solar energy as the main heating source, ensuring regeneration of the absorbent and maintain a continuous loop.

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.

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние и динамика практического использования альтернативных источников энергии

При сохранении существующих темпов роста потребления энергии через несколько поколений человечество столкнется с кризисом такого масштаба, который будет иметь катастрофические последствия для всего населения Земли, считает академик Ж. Алферов [63]. По прогнозам Международного энергетического агентства, в первые тридцать лет XXI века потребление энергии практически удвоится и его ежегодный прирост составит 1,5 %. Для удовлетворения таких растущих потребностей ожидаемые инвестиции в энергетику должны составить примерно 4,6 триллиона долларов. Энергетические потребности человечества ограничены природными ресурсами, которые стремительно истощаются. По оценкам специалистов, нефть будет близка к исчерпанию через 40...50 лет, газ - через 60...70, уголь - через 300...400 лет. Запасов дешевого урана для производства энергии на тепловых нейтронах хватит еще на 120 лет. Оптимистичнее всего выглядит ситуация с ядерной энергетикой на быстрых нейтронах. Здесь ресурс оценивается в полторы тысячи лет.

Именно по этой причине человечество сегодня уделяет всё большее внимание проблеме альтернативной энергетики. Актуальность этой задачи обуславливается и необходимостью изъятия части поступающей на Землю солнечной энергии, чтобы не допустить перегрева планеты. Ряд ученых полагают, что растущее увеличение сброса тепла электростанциями, всеми видами транспортных средств, промышленными объектами, ведет к перегреву земной поверхности. Эта угроза требует адекватных мер по изъятию излишнего тепла посредством широкого внедрения гелиосистем. Так, например, в одном из своих выступлений в Бундестаге, министр по охране окружающей среды отметил, что, благодаря использованию альтернативных источников энергии,

было предотвращено попадание 50 млн. тонн углекислого газа в окружающую среду. При использовании возобновляемых источников решается проблема ограниченности ресурсов энергии. В таблице 1 приведены значения потенциальной энергии таких источников (в триллионах тонн условного топлива в год). Ресурсы любого из этих источников энергии достаточны для удовлетворения потребностей человечества в настоящем и будущем. Их повсеместное использование позволит решать и проблемы экологии. Какой именно источник энергии найдет наибольшее применение, покажет будущее, но проанализировать предпосылки можно уже сегодня.

Таблица 1. Потенциальная энергия возобновляемых и невозобновляемых источников энергии

Вид источника	Потенциальная энергия, трлн. тонн/год
Солнечная энергия	131
Ветровая энергия	2
Гидроэнергия	7
Энергия биомассы	0,1
Уголь	11
Уран	8
Мировое потребление	0,01

Сравним основные возобновляемые источники энергии по ряду показателей. В таблице 2 приведены удельные мощности разных типов электростанций (с учетом площадей, занимаемых сооружениями и зданиями). При расчетах принималось, что все земельные участки имеют одинаковую стоимость. Для тепловых и атомных станций дополнительно учитывались территории, занятые под добычу угля и руды. Площади производств строительных и конструкционных материалов не учитывались, поскольку они

приблизительно одинаковы для всех типов станций. Ожидается уменьшение удельной мощности атомных станций за счет увеличения территорий, занятых под захоронение отходов. Для солнечных станций (особенно фотоэлектрических) данный показатель должен увеличиваться за счет увеличения КПД преобразователей солнечной энергии и большего использования возможности размещения их на крышах зданий.

Таблица 2. Удельные мощности разных типов электростанций

Тип электростанции	Удельная мощность, МВт/км ²
Солнечные станции	50...100
Ветровые станции	до 15
Гидростанции	до 10
Энергия биомассы	до 5
Тепловые станции	до 30
Атомные станции	60...120

Из таблицы видно, что лучшую энергоотдачу имеют солнечные станции (в перспективе ожидается, что это значение еще улучшится). В такой ситуации у человечества единственный выход - преобразование солнечной энергии, которое не нарушает экологию и тепловое равновесие нашей планеты в целом.

Основные положения Киотского протокола [271] и сформулированные для Европейского союза рекомендации по развитию экологически устойчивой энергетики заставляют по-новому рассматривать накопленный мировой опыт в использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Основу энергетики Украины составляют атомные станции, гидроэлектростанции и энергетика на основе ископаемых видов топлива. Наметившийся устойчивый рост промышленного производства неминуемо повлечет увеличение потребления энергоресурсов. Для успешного решения задач энергоснабжения в Украине,

наряду с другими нетрадиционными источниками, следует изучить возможности применения солнечной энергии.

В работе [104, 109] рассмотрен сценарий использования ВИЭ в период до 2050 г., 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 г. в энергобалансе возрастет до 50 % в 2040 г. и до 65 % к 2050 г. Европейский сценарий производства электроэнергии, на базе парогазовых электрических станций и тепловых электрических станций (ТЭС) с использованием природного газа, биомассы и угля, а также установок на ВИЭ, приведет к снижению выбросов CO₂ с 293 млн. т/год в 1999 г. до 276 млн. т/год к 2020 г. Последующее снижение выбросов CO₂ будет более существенным и составит в 2050 г. более 70 млн. т/год, т. е. около 25 %. Интенсивность выбросов CO₂ будет равна 0,125 кг/(кВт ч). В области теплоснабжения сейчас 88 % теплоты 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), энергию Мирового океана, малую гидроэнергетику, энергию горячих подземных вод, солнечную энергетику.