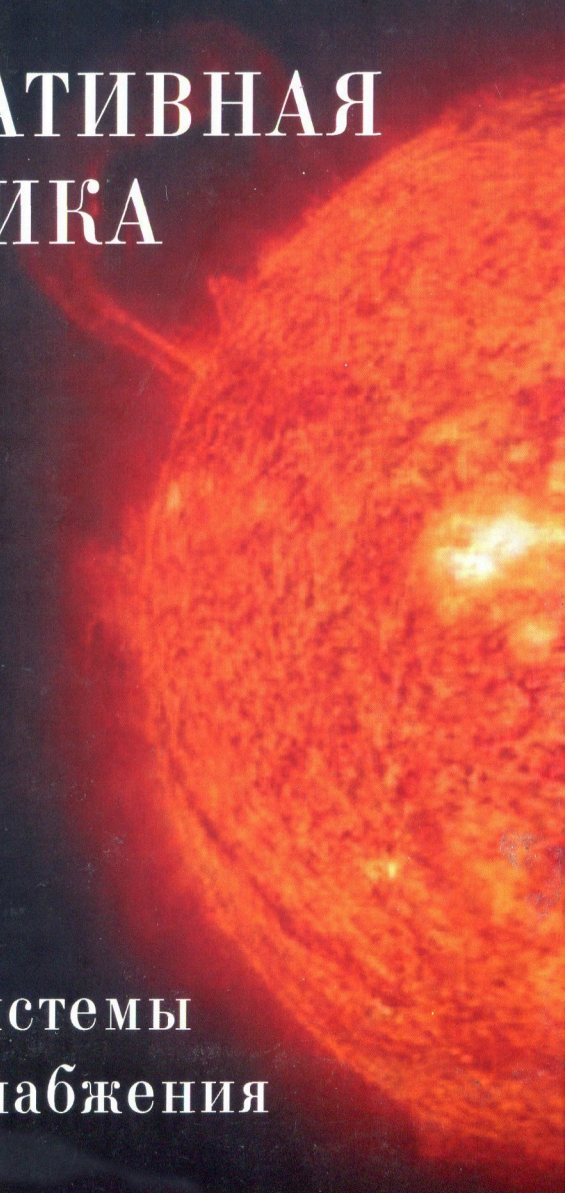


А.В. Дорошенко, М.А. Глауберман

# АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Солнечные системы  
тепло-хладоснабжения



**А.В. Дорошенко, М.А. Глауберман**

**АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА  
Солнечные системы  
тепло-хладоснабжения**

•

**ALTERNATIVE ENERGY  
Refrigerating and Heating Systems**

Монография

Одесса  
2012

УДК 620.91:662.997  
ББК 31.15  
Д 696

Рекомендовано к печати Ученым Советом  
Одесского национального университета имени И.И. Мечникова,  
протокол № 3 от 29.11.2011.

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор **В.Р. Никульшин**,  
доктор физико-математических наук, профессор **В.В. Калинин**

**Дорошенко А.В., Глауберман М.А.**

Д 696 Альтернативная энергетика. Солнечные системы тепло-хладоснабжения : моногр. / А.В. Дорошенко, М.А. Глауберман. – Одесса : Одесск. национ. ун-т им. И.И. Мечникова, 2012. – 447 с.  
ISBN 978-617-689-015-7

Монография посвящена солнечным системам тепло- хлад- и энергоснабжения. Основной материал получен авторами в процессе разработки и создания нового поколения солнечных систем. 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 теплообменники аппараты пленочного типа для этих систем с использованием полимерных материалов. 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 специальностей вузов.

**Doroshenko A.V., Glauberman M. A.**

D 74 Alternative Energy. Refrigerating and Heating Systems : monograph. / A. V. Doroshenko, M. A. Glauberman. – Odessa : Odessa I.I. Mechnikov National University, 2012. – 447 p.

This monograph focuses on matters of creation of solar heating, cooling and energy supply systems. The basic materials were obtained by the authors in process of development and creation of a new generation of solar systems.. Combined heat supply systems were developed based on the combination of solar and traditional energy sources. A new generation of solar dehumidification- evaporating refrigeration and air conditioning systems based on the opened absorption cycle is represented, and film-type heat-mass exchange apparatuses for these systems with application of polymeric materials developed. Environmental impact of new developments was assessed using the advanced Life Cycle Assessment concept.

ISBN 978-617-689-015-7

© А.В. Дорошенко, М.А. Глауберман, 2012  
© Одесск. нац. ун-т им. И.И. Мечникова, 2012

## Аннотация

Монография посвящена вопросам создания солнечных систем тепло- холо- и энергоснабжения. 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 (теплonosные 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.

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 газо-жидкостного коллектора-регенератора.

В рамках этой темы разработана современная теплообменная аппаратура для альтернативных систем (жидкостные, газовые и газо-жидкостные 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 теплообменной 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».

## Annotation

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.

## Введение

### ВЗАИМОСВЯЗАННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ, ЭКОЛОГИИ И ЭКОНОМИКИ. ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА ЗЕМЛИ И ПРОБЛЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Использование энергии возобновляемых источников в настоящее время является одним из приоритетных направлений развития мировой энергетики, что обусловлено необходимостью:

- устранения энергетической нестабильности стран, связанной с энергетическими кризисами;
- уменьшения объемов вредных выбросов, образующихся в процессе использования традиционных энергоносителей;
- сохранения запасов энергоресурсов для будущих поколений;
- увеличения расходов органического сырья для неэнергетических потребностей.

Всё это стимулирует необходимость внедрения энергосберегающих технологий на основе возобновляемых экологически чистых источников энергии.

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.

Доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общем мировом энергопотреблении в настоящее время составляет не более 8-10 %, достигая в наиболее продвинутых в этом отношении странах Европы около 15-16 %. Конец второго тысячелетия характеризуется интенсивным ростом объемов использования энергии ВИЭ в большинстве развитых стран, в частности в США, Германии, Испании, Швеции, Дании, Японии, которые планируют в первой половине XXI века довести долю ВИЭ в общем энергобалансе до 20-50 %.

Возобновляемые источники энергии важны не только с точки зрения диверсификации технологической базы электрогенерации. Мировое сообщество испытывает серьезную озабоченность по поводу глобального изменения климата. Исследования Межгосударственного совета по глобальному изменению климата

(IPCC) убедительно доказали наличие существенного негативного воздействия человеческой деятельности на климат, а также предоставили убедительные прогнозы развития этих негативных тенденций в случае непринятия необходимых мер по сокращению воздействия на окружающую среду. Согласно этим прогнозам, в недалеком будущем изменение климата начнет оказывать серьезное негативное воздействие на деятельность человека.

Как показало исследование, проведенное компанией Exxon Mobile, мировые энергетические потребности ежегодно возрастают на 1.3 % и к 2030 году увеличатся на 40 %, по сравнению с 2005 г. 40 % этого роста придется на энергогенерирующий сектор. Другими словами, сам процесс генерации энергии сегодня потребляет существенную часть выработанной энергии! Соответственно, выбросы углекислого газа (CO<sub>2</sub>), связанные с сектором энергетики, тоже возрастут (данные приведены по Exxon Mobile).

Одним из ключевых факторов сокращения выбросов парниковых газов является использование возобновляемых источников энергии: солнца, ветра, биомассы, гидро-, приливной и геотермальной энергии. Развитие этих технологий поддерживается на государственном уровне в большинстве развитых стран. В частности, в марте 2007 г. Совет Европы поставил цель довести к 2020 г. использование возобновляемых источников до 20 % от общего энергопотребления ЕС.

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 [60, 64, 81, 210, 211]. Концентрация CO<sub>2</sub> 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, хлорфторуглеводородов, 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 адаптационных 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 1990 г., и повышение уровня Мирового океана приблизительно на 15–95 см. от сегодняшнего уровня (по различным оценкам – прогнозионным 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 среднелобальной температу-

ры 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 [211]. В рамках этого принципа, контроль за эмиссией парниковых газов (и прежде всего CO<sub>2</sub>) 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, таких как CO<sub>2</sub> – углекислый газ, N<sub>2</sub>O – закись азота, CH<sub>4</sub> – метан, ГФУ и SF<sub>6</sub> – 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 [104], критическая скорость изменения среднесглобальной температуры не должна превышать 0.1 °C в десятилетие, а среднесглобальная 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.

В 1995 г. объем эмиссии диоксида углерода в Украине оценивался приблизительно 658 млн. тонн [81]. Это количество соответствует 13 тоннам на одного человека, что почти в два раза превышает средние показатели для стран Европейского содружества (7.3 тонны на человека) и почти в 11.7 раз выше нормы, поддержание которой необходимо для экологически устойчивого развития энергетики (1.1 тонны на человека в год) [211]. Эта норма, которую необходимо достигнуть к 2050 г., называется экологическим пространством для CO<sub>2</sub>. Она определяется максимальной скоростью, с которой атмосфера может принимать CO<sub>2</sub> без существенного возрастания парникового эффекта даже в далеком будущем.

Поэтому государствам-членам Европейского содружества настоятельно рекомендуется вводить новые законодательные акты в области экологии, такие как углеродный налог (CO<sub>2</sub>/энергетический налог), ужесточать нормы допустимой эмиссии галоидопроизводных хладагентов [210] и налогообложение на выпуск

оборудования с низким классом энергетической эффективности [211]. 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 обратить внимание на то, что Киотский протокол вступит в силу, только после его ратификации в 55 странах, производивших в 1990 г. 55 % всех выбросов парниковых газов. Поэтому общих планов по контролю за эмиссией парниковых газов пока еще нет. Однако ожидается, что развитые страны будут в ближайшие годы осуществлять первые попытки снижения эмиссии парниковых газов (к 2010 г. на 5 % от уровня эмиссии в 1990 г.). Нужно отметить, что значительная часть основного парникового газа (CO<sub>2</sub>), а также большое количество SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и других вредных веществ, попадает в атмосферу при производстве электрической энергии на тепловых станциях. В атмосферу Земли ежегодно выбрасывается около 5·10<sup>9</sup> т диоксида углерода, 0,15·10<sup>9</sup> т двуокиси серы, 50·10<sup>6</sup> т окислов азота, 20·10<sup>6</sup> т твердых частиц [211].

В связи с изложенным, очевидно, что вопросы энергосбережения и экологии на сегодняшний день чрезвычайно актуальны.

В 2003 году доля ВИЭ в структуре общего энергопотребления Украины составляла около 3 %, дальнейшее развитие возобновляемой энергетики предусматривает выход к 2030 году на 15,5 %. В Украине общий годовой технически достижимый энергетический потенциал ВИЭ в пересчете на условное топливо (у. т.) составляет около 63 млн. т у. т., объемы его освоения в 2030 году могут достичь 50 %. Основными направлениями возобновляемой энергетики в Украине, наиболее эффективными в настоящее время и на ближайшую перспективу, являются: ветроэнергетика, солнечная энергетика, биоэнергетика, гидроэнергетика, геотермальная энергетика.

Для поддержания необходимого уровня энергопотребления и создания экологически устойчивой энергетики в Украине необходимо решить ряд следующих взаимосвязанных задач:

- уменьшить энергопотребление Украины к 2010 г. на 20 % (по сравнению с уровнем 1990 г.), а к середине 21-го века – на 50 %;
- снизить эмиссию диоксида углерода на душу населения к 2010 г. на 30 – 40 % (по сравнению с уровнем 1990 г.), а к 2060 г. – на 90 %;
- значительно уменьшить энергопотребление на денежную единицу валового национального продукта.

Следует подчеркнуть, что ресурсо- и энергосбережение являются двумя сторонами единого процесса: с одной стороны они 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.

Реализация программы определения квот на эмиссию парниковых газов для каждого производства в значительной мере способствовала бы выполнению подписанных Украиной международных обязательств по охране окружающей среды:

- «Протокола про скорочення викидів оксидів азоту або їх транскордонних потоків» (1988 г., София);
- «Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані» (1980 г.);
- Протокола о сокращении выбросов серы (1994 г., Осло) и др.

## Содержание

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>В ПОИСКАХ СПАСАТЕЛЬНОГО КРУГА (предисловие С. Гриневецкого)</b>                                                                                                       | 3  |
| <b>ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ</b>                                                                                                                                     | 9  |
| <b>ПУБЛИКАЦИИ АВТОРОВ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ</b>                                                                                                                                 | 12 |
| <b>АННОТАЦИЯ</b>                                                                                                                                                         | 19 |
| <b>ВВЕДЕНИЕ. ВЗАИМОСВЯЗАННЫЕ ПРОБЛЕМА ЭНЕРГЕТИКИ, ЭКОЛОГИИ И ЭКОНОМИКИ. ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА ЗЕМЛИ И ПРОБЛЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ.</b>                                   | 24 |
| <b>РАЗДЕЛ 1. ОБЗОРНО-ПОСТАНОВОЧНЫЙ. СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ. СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В МИРЕ</b>                                                                                 |    |
| <b>АННОТАЦИЯ К РАЗДЕЛУ 1</b>                                                                                                                                             | 29 |
| <b>ANNOTATION FOR SECTION 1</b>                                                                                                                                          | 31 |
| <b>1.1. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА</b>                                                                                                                                         | 33 |
| 1.1.1. Виды альтернативных источников энергии, современное состояние, динамика и объемы практического использования в мировой практике альтернативных источников энергии | 33 |
| 1.1.2. Варианты и принципиальные возможности использования солнечных систем в области тепло-холодо-энергоснабжения (жизнеобеспечения).                                   | 35 |
| <b>1.2. СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ВАРИАНТЫ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ</b>                                                  | 37 |
| <b>1.3. СОЛНЕЧНЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ И КОНДИЦИОНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ</b>                                                                                                             | 45 |
| 1.3.1. Солнечные холодильные и кондиционирующие системы: обзор современного состояния, общие требования, имеющиеся результаты и анализ возможностей                      | 45 |
| 1.3.2. Системы с прямой солнечной регенерацией абсорбента                                                                                                                | 69 |
| 1.3.3. Системы с непрямой солнечной регенерацией абсорбента                                                                                                              | 72 |
| 1.3.4. Тепломассообменная аппаратура для альтернативных систем                                                                                                           | 74 |
| <b>1.4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО МАТЕРИАЛАМ ОБЗОРА</b>                                                                                                                              | 87 |
| 1.4.1. Выводы по материалам раздела                                                                                                                                      | 87 |
| 1.4.2. Основные проблемы и направления развития солнечной энергетики                                                                                                     | 89 |
| 1.4.3. Основные задачи создания альтернативных систем                                                                                                                    | 90 |

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>РАЗДЕЛ 2. СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛО- И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ</b>                                                       |     |
| <b>АННОТАЦИЯ К РАЗДЕЛУ 2</b>                                                                                      | 91  |
| <b>ANNOTATION TO SECTION 2</b>                                                                                    | 93  |
| <b>2.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</b>                                                             | 94  |
| 2.1.1. Характеристики солнечного излучения. Прямая и рассеянная (диффузная) радиация                              | 94  |
| 2.1.2. Определение оптимального наклона солнечного коллектора для системы горячего водоснабжения                  | 98  |
| <b>РАЗДЕЛ 2</b>                                                                                                   |     |
| <b>ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ</b>                                                             |     |
| <b>2.2. СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ С ПЛОСКИМИ СОЛНЕЧНЫМИ КОЛЛЕКТОРАМИ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ (НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ)</b>     | 103 |
| 2.2.1. Плоские солнечные коллекторы традиционного типа                                                            | 103 |
| 2.2.2. Плоские солнечные коллекторы из полимерных материалов.                                                     | 104 |
| <b>2.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ГЕЛИОСИСТЕМЕ С ПЛОСКИМИ СОЛНЕЧНЫМИ КОЛЛЕКТОРАМИ</b>                             | 118 |
| 2.3.1. Гелиосистема с естественной циркуляцией теплоносителя                                                      | 118 |
| 2.3.2. Моделирование рабочих процессов в плоском полимерном солнечном коллекторе                                  | 126 |
| 2.3.3. Гелиосистема с принудительной циркуляцией теплоносителя                                                    | 134 |
| 2.3.4. Теплотехнические характеристики солнечных газо-жидкостных коллекторов-регенераторов                        | 136 |
| <b>2.4. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ</b>                                                                         | 152 |
| 2.4.1. Анализ теоретических результатов для гелионагревательного контура с традиционными солнечными коллекторами. | 152 |
| 2.4.2. Оптимизация геометрических параметров полимерного солнечного коллектора.                                   | 153 |
| 2.4.3. Тепловая эффективность металлических СК                                                                    | 156 |
| 2.4.4. Результаты расчетов                                                                                        | 156 |
| <b>2.5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СК. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ</b>                    | 158 |
| 2.5.1. Экспериментальное оборудование, методика и программа исследований                                          | 158 |
| 2.5.2. Характеристики исследованных модулей                                                                       | 161 |
| 2.5.3. Методика и программа исследований                                                                          | 161 |
| 2.5.4. Результаты экспериментальных исследований. Интегральные данные и данные по динамическим характеристикам    | 163 |
| 2.5.5. Сравнение расчетных зависимостей с экспериментальными данными                                              | 166 |

## РАЗДЕЛ 2

### **ЧАСТЬ ВТОРАЯ. СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ (ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ)**

|                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>2.6. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ<br/>ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ (ФЭП) СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.</b>                    | 169 |
| 2.6.1. Типы фотоэлектрических систем. Проблемы и<br>пути их решения при создании ФЭП.                               | 174 |
| 2.6.2. Гетерофотопреобразователи (ГФП)                                                                              | 177 |
| 2.6.3. Каскадные солнечные фотоэлементы                                                                             | 179 |
| 2.6.4. Основные типы фотоэлектрических модулей                                                                      | 181 |
| 2.6.5. Голографические солнечные батареи                                                                            | 186 |
| 2.6.6. Комбинированные фотоэлектротермические<br>преобразователи солнечной энергии ФЭТП                             | 188 |
| 2.6.7. Солнечный дом                                                                                                | 192 |
| 2.6.8. Аккумуляция энергии                                                                                          | 194 |
| 2.6.9. Инверторы                                                                                                    | 196 |
| 2.6.10. Анализ рынка фотоэлектрических модулей, используемых<br>в Европейском Союзе. (по состоянию на июнь 2010 г.) | 197 |
| <b>2.7. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ<br/>ПРОИЗВОДСТВА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ</b>      | 202 |
| <b>2.8. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ</b>                                                                                   | 204 |
| 2.8.1. Выводы и рекомендации к конструированию<br>систем теплоснабжения                                             | 204 |
| 2.8.2. Выводы и рекомендации к конструированию систем<br>преобразования солнечной энергии в электротепловую энергию | 205 |

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

|                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>АННОТАЦИЯ К РАЗДЕЛУ 3</b>                                                                                                                       | 206 |
| <b>ANNOTATION TO SECTION 3</b>                                                                                                                     | 208 |
| <b>3.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К АЛЬТЕРНАТИВНЫМ СИСТЕМАМ,<br/>ОСНОВАННЫМ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТКРЫТОГО<br/>АБСОРБЦИОННОГО ЦИКЛА И СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.</b> | 209 |
| <b>3.2. РАЗРАБОТКА НОВЫХ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ<br/>И ТЕПЛОМАСООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ<br/>ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ</b>                                      | 211 |
| 3.2.1. Схемные решения для альтернативных систем с<br>прямой (открытой) регенерацией абсорбента                                                    | 212 |
| 3.2.2. Разработка новых схемных решений для альтернативных<br>систем с непрямой регенерацией абсорбента                                            | 227 |

|                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.3. Общий термодинамический анализ<br>открытых абсорбционных систем                                                                                       | 238 |
| <b>3.3. РАЗРАБОТКА ТЕПЛОМАСООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ<br/>ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ</b>                                                                            | 240 |
| 3.3.1. Требования к тепломасообменной аппаратуре,<br>входящей в состав альтернативных систем                                                                 | 240 |
| 3.3.2. Возможности использования полимерных материалов<br>в конструкции пленочных ТМА (абсорберы,<br>десорберы, солнечные коллекторы).                       | 245 |
| <b>3.4. ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ ОХЛАДИТЕЛИ</b>                                                                                                                         | 248 |
| 3.4.1. Испарительные охладители прямого типа<br>(градирни, воздухоохладители)                                                                                | 248 |
| 3.4.2. Испарительные охладители непрямого типа (НИО)                                                                                                         | 255 |
| <b>3.5. ТЕПЛОМАСООБМЕННАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ<br/>ОСУШИТЕЛЬНОГО КОНТУРА АСКВ (АБСОРБЕРЫ-<br/>ОСУШИТЕЛИ И ДЕСОРБЕРЫ-РЕГЕНЕРАТОРЫ)</b>                              | 262 |
| <b>3.6. РАБОЧИЕ ВЕЩЕСТВА (АБСОРБЕНТЫ) –<br/>ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ВЫБОР РАСТВОРОВ<br/>И ИХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА</b>                                       | 267 |
| <b>3.7. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В<br/>АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМАХ, ОСНОВАННЫХ НА<br/>ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТКРЫТОГО АБСОРБЦИОННОГО ЦИКЛА</b>                    | 277 |
| <b>3.8. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ<br/>ПРОЦЕССОВ В ТМА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ</b>                                                         | 303 |
| 3.8.1. Теоретическое изучение пленочных течений по поверхности ТМА                                                                                           | 303 |
| 3.8.2. Экспериментальное изучение пленочных течений в<br>тепломасообменных аппаратах пленочного типа                                                         | 314 |
| 3.8.3. Экспериментальное исследование испарительных<br>охладителей прямого и непрямого типа                                                                  | 317 |
| <b>3.9. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ<br/>В АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ И<br/>КОНДИЦИОНИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ И АНАЛИЗ<br/>ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ</b> | 331 |
| 3.9.1. Моделирование рабочих процессов в альтернативных системах.                                                                                            | 331 |
| 3.9.2. Анализ возможностей альтернативных систем                                                                                                             | 335 |
| <b>3.10. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ К КОНСТРУИРОВАНИЮ<br/>ОСУШИТЕЛЬНО-ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ</b>                                                               | 344 |
| 3.10.1. Выводы и рекомендации к конструированию<br>испарительных охладителей                                                                                 | 344 |
| 3.10.2. Выводы и рекомендации к конструированию<br>осушительно-испарительных охладителей                                                                     | 347 |

## CONTENTS

### РАЗДЕЛ 4. ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| АННОТАЦИЯ К РАЗДЕЛУ 4                                                                                                                     | 349 |
| ANNOTATION TO SECTION 4                                                                                                                   | 350 |
| 4.1. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ВНЕДРЕНИЯ<br>АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛО-ХЛАДО-<br>ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ. ХАРАКТЕРИСТИКИ<br>АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ | 351 |
| 4.1.1. Результаты промышленного внедрения<br>солнечных систем теплоснабжения.                                                             | 351 |
| 4.1.2. Комбинированные системы тепло-энергоснабжения. Рациональная<br>интеграция традиционных и альтернативных источников энергии         | 361 |
| 4.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ВНЕДРЕНИЯ<br>СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ<br>И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА                                 | 368 |
| 4.3. ВЫВОДЫ ПО МАТЕРИАЛАМ РАЗДЕЛА                                                                                                         | 389 |

### РАЗДЕЛ 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ

|                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| АННОТАЦИЯ К РАЗДЕЛУ 5                                                                                                                                                                  | 391 |
| ANNOTATION TO SECTION 5                                                                                                                                                                | 392 |
| 5.1. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ «ПОЛНЫЙ ЖИЗНЕННЫЙ<br>ЦИКЛ - LIFE CYCLE ASSESSMENT», КАК МЕТОДА АНАЛИЗА<br>НОВЫХ РЕШЕНИЙ И ВЫБОРА ПЕРСПЕКТИВНЫХ<br>НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ | 393 |
| 5.2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ<br>ОХЛАЖДЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА                                                                                              | 399 |
| 5.2.1. Сравнительный анализ солнечных коллекторов<br>традиционного (из цветных металлов) и полимерного типа                                                                            | 399 |
| 5.2.2. Анализ солнечных коллекторов-регенераторов<br>СК-Р традиционного и нового типа                                                                                                  | 403 |
| 5.2.3. Сравнительный анализ альтернативных<br>солнечных систем хладоснабжения                                                                                                          | 409 |
| 5.3. ВЫВОДЫ ПО МАТЕРИАЛАМ РАЗДЕЛА                                                                                                                                                      | 409 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ | 413 |
|-----------------|-----|

|                        |     |
|------------------------|-----|
| ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ | 422 |
|------------------------|-----|

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| IN SEARCH OF A LIFE BUOY (foreword C. Grinevetsky) | 3  |
| KEY NOTATION                                       | 9  |
| AUTHOR'S PUBLICATIONS ON THE THEME OF WORK         | 12 |
| ANNOTATION                                         | 22 |

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| PREFACE. INTERRELATING ENERGY-ECOLOGY-ECONOMY<br>PROBLEMS. THE EARTH CLIMATE CHANGE<br>AND THE GLOBAL WARMING EFFECT | 24 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### PART 1. INTRODUCTION. SOLAR SYSTEMS. INTERNATIONAL RESEARCH IN THE FIELD

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ANNOTATION FOR PART 1                                                                                                                                                         | 31 |
| 1.1. SOLAR POWER ENGINEERING                                                                                                                                                  | 33 |
| 1.1.1. Types of Alternative Energy Sources; Current State of the<br>Problem; Dynamics and Extent of Practical Application<br>of Alternative Energy Sources in the World       | 33 |
| 1.1.2. Use of Solar Systems and Principal Possibilities of Their<br>Application for Heating, Cooling, and Energy Supply                                                       | 35 |
| 1.2. SOLAR HEATING SYSTEMS. KEY TYPES OF FLAT<br>SOLAR COLLECTORS FOR ALTERNATIVE SYSTEMS                                                                                     | 37 |
| 1.3. SOLAR SYSTEMS OF REFRIGERATING<br>AND AIR CONDITIONING                                                                                                                   | 45 |
| 1.3.1. Solar Systems of Refrigerating and Air Conditioning: Overview<br>of the Subject's Current State; General Requirements;<br>Available Results, and Analysis of the Means | 45 |
| 1.3.2. Direct Solar Regeneration Systems                                                                                                                                      | 69 |
| 1.3.3. Indirect Solar Regeneration Systems                                                                                                                                    | 72 |
| 1.3.4. Heat-Mass Exchange Apparatus for Alternative Systems                                                                                                                   | 74 |
| 1.4. SUMMARY                                                                                                                                                                  | 87 |
| 1.4.1. Conclusions                                                                                                                                                            | 87 |
| 1.4.2. Key Problems and Trends of the Solar Energy Power Engineering                                                                                                          | 89 |
| 1.4.3. Major Tasks of Creation of Alternative Systems                                                                                                                         | 90 |

### PART 2. SOLAR SYSTEMS OF HEAT AND ENERGY SUPPLY

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| ANNOTATION FOR PART 2                        | 93 |
| 2.1. GENERAL ANALYSIS OF THE SOLAR RADIATION | 94 |



|                                                                                                                             |     |                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1.1. Characteristics of the Solar Radiation. Direct and Diffuse Radiation                                                 | 94  | 2.6.5. Growth Trends of Photoelectric Converters<br>Production, and Outlook for Their Application                                                                                   | 186 |
| 2.1.2. Determination of Solar Collector Optimal<br>Pitch for Hot Water Supply System                                        | 98  | <b>2.7. PROSPECTS FOR THE USE AND DEVELOPMENT TRENDS<br/>OF THE PRODUCTION OF PHOTOVOLTAIC COOLERS</b>                                                                              | 202 |
| <b>SUBSECTION 1. SOLAR HEAT SUPPLY SYSTEMS</b>                                                                              |     | <b>2.8. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS</b>                                                                                                                                         | 204 |
| <b>2.2. SOLAR SYSTEMS WITH FLAT SOLAR COLLECTORS FOR<br/>ALTERNATIVE SYSTEMS (NEW DEVELOPMENTS)</b>                         | 103 | 2.8.1. Conclusions and Recommendations for Heat Supply System Design                                                                                                                | 204 |
| 2.2.1. Traditional Flat Solar Collectors (Using Non-ferrous<br>Metals for Heat Receiver Construction)                       | 103 | 2.8.2. Conclusions and Recommendations for Designing Systems<br>of Converting Solar Energy into Heat and Electric Power                                                             | 205 |
| 2.2.2. Flat Solar Collectors Made of Polymeric Materials                                                                    | 104 |                                                                                                                                                                                     |     |
| <b>2.3. SIMULATION OF PROCESSES IN HELIOSYSTEM<br/>WITH FLAT SOLAR COLLECTORS</b>                                           | 118 | <b>PART 3. SOLAR REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING<br/>(EVAPORATION DRYING) SYSTEMS</b>                                                                                            |     |
| 2.3.1. Heliosystem with Natural Heat Medium Circulation                                                                     | 118 | <b>ANNOTATION FOR PART 3</b>                                                                                                                                                        | 208 |
| 2.3.2. Simulation of Processes in Flat Polymeric Solar Collector                                                            | 126 | <b>3.1. BASIC REQUIREMENTS FOR ALTERNATIVE SYSTEMS BASED<br/>ON OPEN ABSORPTION CYCLE AND SOLAR ENERGY</b>                                                                          | 209 |
| 2.3.3. Heliosystem with Positive Medium Circulation                                                                         | 134 | <b>3.2. DEVELOPMENT OF NEW CIRCUIT SOLUTIONS AND HEAT-<br/>MASS EXCHANGE APPARATUS FOR ALTERNATIVE SYSTEMS</b>                                                                      | 211 |
| 2.3.4. Thermal performance of solar collectors of gas-liquid absorbent<br>for regeneration                                  | 136 | 3.2.1. Circuit Solutions for Alternative Systems with<br>Direct (Open) Absorbent Regeneration                                                                                       | 212 |
| <b>2.4. RESULTS</b>                                                                                                         | 152 | 3.2.2. Development of New Circuit Solutions for Alternative<br>Systems with Indirect Absorbent Regeneration                                                                         | 227 |
| 2.4.1. Analysis of Theoretical Results for Solar Heating<br>Contour with Usual Solar Collectors                             | 152 | 3.2.3. General Thermodynamic Analysis of Open Absorption Systems                                                                                                                    | 238 |
| 2.4.2. Optimization of Polymeric Solar Collector Geometry                                                                   | 153 | <b>3.3. DEVELOPMENT OF HEAT-MASS EXCHANGE<br/>EQUIPMENT FOR ALTERNATIVE SYSTEMS</b>                                                                                                 | 240 |
| 2.4.3. Heat Efficiency of Metallic Solar Collectors                                                                         | 156 | 3.3.1. Requirements for Heat-Mass Exchange Equipment<br>Being a Part of Alternative Systems                                                                                         | 240 |
| 2.4.4. Calculated Results                                                                                                   | 156 | 3.3.2. Use of Polymeric Materials in Film-Type Heat-Mass Exchange<br>Apparatus (Absorbers, Strippers, Solar Collectors)                                                             | 245 |
| <b>2.5. EXPERIMENTAL STUDY OF SOLAR COLLECTOR<br/>CHARACTERISTICS. ANALYSIS OF TEST RESULTS</b>                             | 158 | <b>3.4. EVAPORATIVE COOLERS</b>                                                                                                                                                     | 248 |
| 2.5.1. Experimental Equipment, and Methods, and Research Program                                                            | 158 | 3.4.1. Direct Evaporative Coolers (DEC) (Cooling Towers, Air Coolers)                                                                                                               | 248 |
| 2.5.2. Characteristics of Studied Modules                                                                                   | 161 | 3.4.2. Indirect Evaporative Coolers (IEC)                                                                                                                                           | 255 |
| 2.5.3. Methods and Program of the Research                                                                                  | 161 | <b>3.5. HEAT-MASS EXCHANGE EQUIPMENT FOR<br/>DEHUMIDIFICATION CIRCUIT OF ALTERNATIVE<br/>SOLAR AIR CONDITIONING SYSTEMS (ABSORBER-<br/>DEHUMIDIFIERS AND STRIPPER-REGENERATORS)</b> | 262 |
| 2.5.4. Experimental Study Results. Integral and Dynamic Behavior Data                                                       | 163 | <b>3.6. WORKING MEDIUMS (ABSORBENTS): BASIC REQUIREMENTS,<br/>AND THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SELECTED FLUIDS</b>                                                                  | 267 |
| 2.5.5. Comparison of Calculated and Experimental Data                                                                       | 166 | <b>3.7. SIMULATION OF WORKING PROCESSES IN ALTERNATIVE<br/>SYSTEMS BASED ON OPEN ABSORPTION CYCLE</b>                                                                               | 277 |
| <b>SUBSECTION 2. SOLAR SYSTEMS WITH LIGHT-ELECTRICITY<br/>DIRECT CONVERSION (PHOTOELECTRIC<br/>SOLAR ENERGY CONVERTERS)</b> |     | <b>3.8. EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY<br/>OF PROCESSES IN HEAT-MASS EXCHANGE<br/>APPARATUS OF ALTERNATIVE SYSTEMS</b>                                                          | 303 |
| <b>2.6. TYPES OF PHOTOELECTRIC SOLAR ENERGY CONVERTERS</b>                                                                  | 169 | 3.8.1. Theoretical Study of Film Flows on the Surface<br>of Heat-Mass Exchange Apparatus                                                                                            | 303 |
| 2.6.1. Photoelectric Solar Plants with Radiation Concentrators                                                              | 174 |                                                                                                                                                                                     |     |
| 2.6.2. Polycrystalline Silicon Flat Band Panels                                                                             | 177 |                                                                                                                                                                                     |     |
| 2.6.3. Types of Photoelectric Systems                                                                                       | 179 |                                                                                                                                                                                     |     |
| 2.6.4. Combined Photoelectrothermal Solar Energy Converters                                                                 | 181 |                                                                                                                                                                                     |     |

|                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.8.2. Experimental Study of Film Flows in the Film-Type Heat-Mass Exchange Apparatus                                                                      | 314 |
| 3.8.3. Experimental Study of Direct and Indirect Evaporative Coolers                                                                                       | 317 |
| <b>3.9. SIMULATION OF WORKING PROCESSES IN ALTERNATIVE REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING SYSTEMS, AND ANALYSIS OF CAPABILITIES OF ALTERNATIVE SYSTEMS</b> | 331 |
| 3.9.1. Simulation of Working Processes in Alternative Systems                                                                                              | 331 |
| 3.9.2. Analysis of Capabilities of Alternative Systems                                                                                                     | 335 |
| <b>3.10. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS FOR DESIGNING EVAPORATION DRYING COOLERS</b>                                                                      | 344 |
| 3.10.1. Conclusions and recommendations for the design of evaporative coolers                                                                              | 344 |
| 3.10.2. Conclusions and recommendations for the design of drainage-evaporative coolers                                                                     | 347 |

#### **PART 4. ENGINEERING APPLICATIONS**

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ANNOTATION FOR PART 4</b>                                                                                                                     | 350 |
| <b>4.1. RESULTS OF INDUSTRIAL INTRODUCTION OF ALTERNATIVE HEATING, COOLING AND ENERGY SUPPLY SYSTEMS. CHARACTERISTICS OF ALTERNATIVE SYSTEMS</b> | 351 |
| 4.1.1. Results of Industrial Introduction of Solar Heat Supply Systems                                                                           | 351 |
| 4.1.2. Combined Heat and Energy Supply Systems. Rational Integration of Traditional and Alternative Energy Sources                               | 361 |
| <b>4.2. RESULTS OF INDUSTRIAL INTRODUCTION OF SOLAR COOLING AND AIR CONDITIONING SYSTEMS</b>                                                     | 368 |
| <b>4.3. CONCLUSIONS</b>                                                                                                                          | 389 |

#### **PART 5. CREATION OF SOLAR SYSTEMS: ENVIRONMENTAL ASPECTS**

|                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ANNOTATION FOR PART 5</b>                                                                                                                                           | 392 |
| <b>5.1. DEVELOPMENT OF LIFE CYCLE ASSESSMENT CONCEPT AS A METHOD OF ANALYZING NEW SOLUTIONS AND SELECTING PERSPECTIVE TRENDS OF DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE SYSTEMS</b> | 393 |
| <b>5.2. ECOLOGICAL ANALYSIS OF ALTERNATIVE COOLING AND AIR CONDITIONING SYSTEMS</b>                                                                                    | 399 |
| 5.2.1. Comparative Analysis of Traditional (Made of Non-Ferrous Metals) and Polymeric Solar Collectors                                                                 | 399 |
| 5.2.2. Analysis of Traditional and New Solar Collector-Regenerators                                                                                                    | 403 |
| 5.2.3. Comparative Analysis of Alternative Solar Cooling Systems                                                                                                       | 409 |
| <b>5.3. CONCLUSIONS</b>                                                                                                                                                | 409 |
| <b>GENERAL CONCLUSIONS</b>                                                                                                                                             | 413 |
| <b>REFERENCES</b>                                                                                                                                                      | 422 |