

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»
THE RUSSIAN ACADEMY OF NATURAL HISTORY
PUBLISHING HOUSE «ACADEMY OF NATURAL HISTORY»

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
SCIENTIFIC REVIEW. TECHNICAL SCIENCES

№ 1
2016

Учредитель:
Издательский дом
«Академия Естествознания»,
440026, Россия, г. Пенза,
ул. Лермонтова, д. 3

Founding:
Publishing House
«Academy Of Natural History»
440026, Russia, Penza,
3 Lermontova str.

Адрес редакции
440026, Россия, г. Пенза,
ул. Лермонтова, д. 3
Тел. +7 (499) 704-1341
Факс +7 (8452) 477-677
e-mail: edition@rae.ru

Edition address
440026, Russia, Penza,
3 Lermontova str.
Tel. +7 (499) 704-1341
Fax +7 (8452) 477-677
e-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать 01.03.2015
Формат 60x90 1/8

Типография ИД
Издательский дом
«Академия Естествознания»,
440026, Россия, г. Пенза,
ул. Лермонтова, д. 3

Signed in print 01.03.2015
Format 60x90 8.1

Typography
Publishing House
«Academy Of Natural History»
440026, Russia, Penza,
3 Lermontova str.

Технический редактор Лукашова Н.В.
Корректор Андреев А.М.

Тираж 1000 экз.
Заказ НО 2016/1

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания

**From 2014 edition of the journal resumed by
Academy of Natural History**

Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov

Редакционная коллегия (**Editorial Board**)
А.Н. Курзанов (**A.N. Kurzanov**)
Н.Ю. Стукова (**N.Yu. Stukova**)
М.Н. Бизенкова (**M.N. Bizenkova**)
Н.Е. Старчи́кова (**N.E. Starchikova**)
Т.В. Шнуровозова (**T.V. Shnurovozova**)

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW. TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2016 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
литературные обзоры диссертаций,
статьи проблемного и научно-практического
характера по техническим наукам***

The issue contains scientific reviews, literary dissertation reviews, problem and practical scientific articles, based on technical sciences

СОДЕРЖАНИЕ

СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СТЕНДОВ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ <i>Амандиков М.А., Амандыкова Н.М.</i>	5
ЧЕМ, КАК И КТО ГРОЗИТ ДВИЖЕНИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ? (КОММЕНТАРИЙ П.А. ВЕРТИНСКОГО НА ПУБЛИКАЦИЮ «В ПРЕДЧУВСТВИИ ИНВЕРСИИ. ЧЕМ ГРОЗИТ ДВИЖЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ?») <i>Вертинский П.А.</i>	9
НАУЧНЫЙ ОБЗОР: ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В РАЗВИТИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ ТУРКМЕНИСТАНА <i>Пенджиев А.М.</i>	24
НАУЧНЫЙ ОБЗОР: ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В РАЗВИТИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ТУРКМЕНИСТАНА <i>Пенджиев А.М.</i>	61
БИОТЕХНИКА – НАУКА О СИНТЕЗЕ БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ <i>Попечителей Е.П.</i>	106
НЕЛИНЕЙНО ПРЕОБРАЗОВАННАЯ ГИБРИДНАЯ СИСТЕМ ПРЯМОГО АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ <i>Шевко Д.Г.</i>	112

CONTENTS

CREATING A VIRTUAL STAND OF INFORMATION SYSTEMS USING SOFTWARE <i>Amandikov M.A., Amandykova N.M.</i>	5
WHAT, HOW AND WHO THREATENS TRAFFIC EARTH'S MAGNETIC FIELD? (P.A. VERTINSKAYA COMMENTS FOR PUBLICATION «IN ANTICIPATION OF INVERSION. WHAT THREATENS MOVEMENT EARTH'S MAGNETIC FIELD?») <i>Vertinskii P.A.</i>	9
THE SCIENTIFIC REVIEW: GEOINFORMATION SYSTEMS IN DEVELOPMENT WIND OF POWER IN TURKMENISTAN <i>Penjiyev A.M.</i>	24
THE SCIENTIFIC REVIEW: GEOINFORMATION SYSTEMS IN DEVELOPMENT OF SOLAR POWER OF TURKMENISTAN <i>Penjiyev A.M.</i>	61
BIOTEKTONIKA - SCIENCE OF SYNTHESIS BIOTECHNICAL SYSTEMS <i>Popechitelev E.P.</i>	106
NONLINEAR TRANSFORMED HYBRID SYSTEM OF DIRECT ADAPTIVE CONTROL <i>Shevko D.G.</i>	112

УДК 519.711.3

СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СТЕНДОВ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Амандиков М.А., Амандыкова Н.М.

Шымкент, e-mail: amandikov59@mail.ru

В статье излагаются технология и программные средства персонального компьютера, который является важной составляющей процесса использования информационных ресурсов общества. Они прошли несколько эволюционных этапов, смена которых определялась главным образом развитием научно-технического прогресса, появлением новых технических средств переработки информации. Внедрение персонального компьютера в информационную сферу и применение телекоммуникационных средств связи определили новый этап развития информационных технологий.

Ключевые слова: Структурированные задачи, обработка данных об операциях, создание периодических контрольных отчетов, компоненты, сбор данных, обработка данных, цель, принятие решений, содержимое базы данных.

CREATING A VIRTUAL STAND OF INFORMATION SYSTEMS USING SOFTWARE

Amandikov M.A., Amandykova N.M.

Shymkent, e-mail: amandikov59@mail.ru

The article presents the technology and software for PC, which is an important component of the process of using information resources of society. They passed through several stages of evolution, the change of which is determined primarily the development of scientific and technical progress, the emergence of new technical means of information processing. The introduction of the personal computer in the information sector and the use of telecommunication means defined a new stage in the development of information technology.

Keywords: Structured tasks, data processing of transactions, the creation of periodic monitoring reports, components, data acquisition, data processing, purpose, decision-making, the contents of the database.

Задачи любого образовательного учреждения определяется социальным заказом общества. В период рыночных отношений вопросы экономической и социальной интеграции стоят особенно остро. Но информационно-коммуникационные технологий (ИКТ) потребности не всегда удовлетворяются из-за барьера практического навыка. Практическое владение стандартной программой персонального компьютера является чуть не залогом успеха.

Цель данной статьи – познакомить с возможностями современных технологий виртуальных лабораторных работ.

Перспектива – проведение на базе представленной технологий. Пользовательские интерфейсы виртуальных лабораторных проектов в образовании и разработки виртуальных лабораторных работ, на основе современных универсальных программных обеспечения.

Создания информационных ресурсов высшего учебного заведения (ВУЗ) вообще, и образовательного назначения, в частности, можно разделить на декларируемые и неявные, которые имеют как разработчики, так и заказчики информационных ресурсов.

Декларируемые цели заказчика обусловлены необходимостью повышения качества и уровня образования, а именно:

- модернизацией технических средств обучения;
- развитием новых методик преподавания и обучения;
- созданием условий для формирования системы открытого образования.

Кроме того, у всякого образовательного информационного ресурса существует конкретный владелец, затрачивающий средства на его создание и сопровождение, исходя из своих «неявных» целей, к числу которых наиболее часто относятся:

- реализация определенной образовательной политики в русле современных социо-культурных требований;
- расширение международного сотрудничества в продвижении киберобразования;
- продвижение на рынок определенных образовательных продуктов, реализуемое посредством расширения сферы потенциальных пользователей и формирования потребностей у целевых групп обучаемых;
- расширение спектра платных образовательных услуг.

В связи с этим, одним из проблемы является виртуализация учебно-лабораторного комплекса кафедры.

Дальнейший шаг библиотеки субмодулей-блоков, узлов и устройств, в целом программный продукт персонального компьютера.

Мультимедийные электронные ресурсы. В этом издании информации различной природы присутствует равноправно и взаимосвязано для решения определенных разработчикам задач, причем это взаимосвязь обеспечена программными средствами [1].

В состав разработки этого вида предназначенных учебного процесса, входят электронные тексты учебных пособий, электронные образы графических объектов цифровое представление звуковой информации, предназначенный для прослушивания. Составным элементом мультимедийного виртуального разработки учебного процесса назначения могут быть электронные ресурсы и прикладные программы, в том числе для тестирующие программы.

К успеху в области создания информационных ресурсов приводит разумное и эффективное сочетание декларируемых и реальных интересов разработчика и заказчика.

Методы исследования

Программные средства для создания виртуальных стендов широко используется в практике по предмету информатика и информационные технологий и самых разных предметных областях науки и производство от технического проектирования до организационного консультирования.

Анализ имеющегося лабораторного оборудования и общедоступных программных средств с позиции этих аспектов позволил создать таблицу отражающую наиболее эффективные пути организации технико-методического обеспечения лабораторных занятий и разработки виртуальных лабораторных стендов, которая применяется новые педтехнологий на кафедре при организации учебного процесса.

В современных условиях динамического развития информационных и компьютерных технологий, их широкого применения в учебном процессе, наблюдается ряд тенденции в организации технико-методического обеспечения лабораторных занятий, проводимых по ряду специальных курсов по компьютерным технологиям, читаемых на кафедре.

Современные педагогические технологии же – это комплекс мер по реализации виртуального учебного и интерактивного обучающего процесса, представляющая собой совокупность технического, программного решений, направленные на достижение учебно-познавательной цели образовательного процесса.

Программные средства эта замена деятельности человека компьютерам, оборудованием и программ-

ным обеспечением. Поэтому говоря об автоматизации рабочих мест персонала необходима уточнить, о какой степени автоматизации идет речь.

По степени автоматизации учебные технологии подразделяются на не автоматизированные, частично автоматизированные и автоматизированные.

Автоматизация педагогических технологий включает в себя:

- деятельность педагога (презентация материала, раздаточные материалы анимационные материалы, контроль с целью корректировки процесса усвоения материала, оценка знания по рейтинговой системе);

- учебный материал (содержание);

- вид учебной деятельности (лекция, лабораторные работы, практические работы, тесты);

- учебные средства;

- методика обучения (подробная инструкция использования способов, средств и приемов обучения).

К автоматизированным педагогическим технологиям предъявляются определенные дидактические требования. К ним относится оперативная обратная связь виртуальность интерактивность, наглядность, обширность содержания.

Информационные технологии рассматривается как эффективность средства усвоения учебного содержания. Вот поэтому очень важно определить, насколько в полном объеме и насколько эффективно вообще возможно усвоения содержания.

Однозначно, что всё зависит от качества организации познавательного процесса, определяющим компонентом которого является целеустановка. Основной задачей педагогических технологий и является определения четких учебных целей.

В качестве инструментальной среды используется одна из систем визуального моделирования. Учитывается также возможность дальнейшей модификации расширения библиотеки (виртуальные лаборатории, обучающие программы и самотестирование). Требования визуализации особенно важно в приложении к учебному процессу (при составлении лабораторных и практических занятий а также интерактивных обучающих программ).

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве таковой был выбран системный интегратор Math Connect , входящий в состав пакета MathCAD, Mat Lab, MS office и т.д. Моделирование может вестись как на абстрактном уровне, отвлеченном от конкретной реализации, так и на уровнях, приближенных к физическим процессам. При этом возможность использования объектов приложений для сложных математических расчетов снимает практически все ограничения на математическую модель рассматриваемой системы, а многоуровневое построение документа значительно повышает точность исследований и удобство их проведения.

К числу основных негативных тенденций следует отнести:

– быстрое техническое, а подчас, и моральное устаревание традиционно используемого лабораторного оборудования;

– отставание электронных ресурсов в производстве нового лабораторного оборудования от достижений в области создания новейшей микроэлектронной базы, а также прикладного и общесистемного программного обеспечения;

– наличие трудностей в приобретении нового лабораторного оборудования из-за потери с заводами изготовителями и частичного прекращения выпуска этого оборудования.

Вместе с тем, следует выделить ряд положительных тенденций, наметившихся на пути решения данной проблемы. [2]

Во-первых, необходимо отметить расширение потенциальных возможностей традиционных программных средств алгоритмических языков высокого уровня, позволяющих за счет применения объектно-ориентированного и визуального программирования быстро и легко создавать любые приложения. К числу программных средств можно отнести процедурно-ориентированные языки VB, Delphi, Java и т.д.; проблемно-ориентированные языки LISP, C++, C#, языки СУБД и т.д.;

Во-вторых, следует констатировать факт появления новых и дальнейшее совершенствование уже существовавших специальных программных средств, используемых для создания мультимедийных приложений, а также специализированных программных средств, предназначенных для автоматизации синтеза и анализа электронных схем и проведения математических расчетов (AutoCAD, Matlab, MathCAD и т.д.).

В-третьих, нельзя не упомянуть о наличии большого числа готовых обучающих программ по различным курсам, которые также могут успешно использоваться при организации и проведении лабораторных работ.

В этих условиях логичным и вполне оправданным является частичный отказ от традиционных методов макетного моделирования и натурного эксперимента и переход к более широкому применению методов имитационного моделирования и вычислительного эксперимента. Основу такого перехода должны составить виртуальные лабораторные стенды и специальные обучающие программы, реализуемые на современных компьютерах.

При этом могут быть выделены три основные группы инструментальных программных средств, которые создают определенные перспективы и предоставляют хорошие возможности для разработки виртуальных лабораторных стендов и организации лабораторных занятий с привлечением новейших информационных и компьютерных технологий.

При анализе виртуальных учебных лабораторных работ учебных заведений рассматривались как общие черты виртуальных лабораторных работ всех типов такие как:

– способность интеграции большого объема неоднородных данных;

– наличие развитых браузеров поиска;

– наличие средств персонализации содержимого виртуальной работы для определенного пользователя.

Так и специализированные службы собственно виртуальных лабораторных работ, обеспечивающие возможности доступа к различным электронным ресурсам таким как:

– полнотекстовые электронные ресурсы;

– интерактивные обучающие курсы;

– система удаленного доступа тестирования.

Отметим, что крайне необходимо использовать единую классификацию информационных ресурсов. Это, во-первых, обеспечит их интероперабельность для различных образовательных порталов, во-вторых, позволит унифицировать образовательный контент, отражающий уникальные информационные ресурсы высшего учебного заведения. [3]

Как показали исследования, наличие виртуальных работ не зависит от количества и качества образовательных ресурсов ВУЗа.

Поэтому нами была предпринята попытка проанализировать все виртуальные лабораторные работы, аккумулирующие информацию образовательного характера региона, а если таковые отсутствуют, то хотя бы регионального центра.

Причем, если не было найдено, освещающих проблемы различных уровней образования, то рассматривались виртуальные лабораторные работы узкой направленности, например, школьные макеты.

На основе этого анализа можно сделать следующие выводы.

Все рассмотренные работы резко отличаются друг от друга по структуре и информационному наполнению.

Мы понимаем, что в плане одной лекции и одного лабораторного занятия по данной теме нельзя охватить большой имеющегося материала в учебно-методической, журнальной литературе, информации Интернет и Интранет. Поэтому студентам рекомендуется дополнительное изучение материалов указанных источников в виде самостоятельной работы и выполнение рефе-

ратов по избранной тематике. Список рекомендуемых тем рефератов студентам предлагается на первых неделях обучения.

Список литературы

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Сетевые операционные системы. – СПб.: Питер, 2005. – 539 с.
2. Козлов В.А. Создание единого информационного пространства путем применения международных стандартов // Стандарты и качества. – 1996. – №2.
3. Тихонов А.Н., Богатырь Б.Н. Моделирование и концептуальное проектирование процессов информатизации сферы образования // Бюллетень «Проблемы информатизации высшей школы». – 1997. – №1-2 (7-8). – С. 9-12.

УДК 55

**ЧЕМ, КАК И КТО ГРОЗИТ ДВИЖЕНИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ?
(КОММЕНТАРИИ П.А. ВЕРТИНСКОГО НА ПУБЛИКАЦИЮ
«В ПРЕДЧУВСТВИИ ИНВЕРСИИ.
ЧЕМ ГРОЗИТ ДВИЖЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ?»)**

Вергинский П.А.*Усолье-Сибирское, e-mail: pavel-35@mail.ru*

В данной статье анализируется публикация «В предчувствии инверсии. Чем грозит движение магнитного поля земли?» в журнале «ПОИСК» (2015, №6). Автор проводит исследование по геоэкологической проблеме современной ракетно-космической деятельности, приводит хронологические факты, подтверждающие зависимость запусков космических летательных аппаратов с глобальными катаклизмами, участвовавшими и усилившимися с началом космической эры.

Ключевые слова: магнитодинамическая природа геомагнетизма, природные катаклизмы, геоэкологическая проблема, ракетно-космическая деятельность, магнитное поле Земли.

**WHAT, HOW AND WHO THREATENS TRAFFIC EARTH'S MAGNETIC FIELD?
(P.A. VERTINSKAYA COMMENTS FOR PUBLICATION
«IN ANTICIPATION OF INVERSION.
WHAT THREATENS MOVEMENT EARTH'S MAGNETIC FIELD?»)**

Vertinskii P.A.*Usolye-Sibirskoye, e-mail: pavel-35@mail.ru*

This paper analyzes the publication of "In anticipation of the inversion. What threatens the movement of the magnetic field of the earth?" in the journal «Search» (2015, №6). The author carries out a study on geo-ecological problems of modern missile and space activities, resulting in chronological facts confirming the relationship between launch of spacecraft with global cataclysms, engagement and efforts with the beginning of the space age.

Keywords: magnetodynamic nature of geomagnetism, natural disasters, geo-ecological problem, rocket and space activity, Earth's magnetic field.

I. Предисловие

Из указанной публикации, которая была опубликована в журнале «ПОИСК» (2015, №6) обращают на себя особое внимание последние фразы-вопросы: «...Почему магнитное поле дрожит? Ничто твердое в земном ядре с такой скоростью колебаться не может. По-видимому, это дрожание наведенное – магнитное поле отражает колебания ионосферы. А, может быть, найдется какое-то другое объяснение. Требуется продолжать исследования проблем, связанных с изменением “магнитной погоды” и “магнитного климата”...»

Дело в том, что в течение последних десяти лет автор «ведёт» безответную «переписку» по данной геоэкологической проблеме современной ракетно-космической деятельности, хронология которой отражается в публикациях автора [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17] и др. Министры РФ Фурсенко А.А., Шойгу С.К. и Трутнев Ю.П. были первыми моими адресатами в декабре 2004 года, к которым я обратился, узнав из сообщений СМИ об ужасном цунами в Индонезии, подтвердившем мои опасения о

выводах, об объективных функциональных причинно-следственных связях запусков КЛА с глобальными катаклизмами, участвовавшими и усилившимися с началом космической эры. Позже основные выводы по проблеме я изложил в своей брошюре (Вергинский П.А. Геоэкологические проблемы современной ракетно-космической деятельности. – Усолье-Сибирское, Иркутск: ИрГСХА, 2009. – URL: http://biblioteka-dzvon.narod.ru/docs/GEOEKOLOGIQ_-_PDF.mdi).

Так как из всего списка публикаций автора только три первые не оцифрованы, а все остальные публикации, в которых выводы и рекомендации автора подтверждаются новыми и новыми фактами, то авторские комментарии к упомянутой публикации, отражающей, как указано в тексте, высокое мнение Председателя Объединенного Ученого Совета СО РАН по наукам о Земле академика Николая Леонтьевича Добрецова, то есть является официальным и поэтому должно считаться научным, то комментарии автора можно свести к цитатам из указанных публикаций, которые легко найти по указанным Интернет-адресам.

II. Природа геомагнетизма с позиций магнитодинамики

Так как главное качество учёного – объективность, независимость его суждений от влечения начальства, признание лишь выводов, соответствующих действительности, то в комментируемой публикации в журнале «ПОИСК» нуждаются в фактических комментариях несколько тезисов, что позволяет свои комментарии построить по схеме ВОПРОС (тезис из «ПОИСК» №6) – ОТВЕТ-цитата из публикаций автора [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]:

Тезис А. «...Сильнее всего с магнитным полем связана ионосфера, они влияют друг на друга, поэтому в моменты изменения напряженности магнитного поля полярные сияния – свечение ионизированного газа – могут наблюдать и жители умеренных широт...» По существу этого тезиса из «ПОИСКА» цитирую из публикации (Вертинский П.А. Природа геомагнетизма с позиций магнитодинамики. – URL: <http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/publications/vert1.doc> (см. [4], стр.10-18): «...К настоящему времени геофизика накопила о магнетизме Земли огромную информацию, большая часть которой получена в новейший период исследований космического пространства путём непосредственных инструментальных исследований с помощью космических летательных аппаратов, но построить общепризнанную теорию о происхождении магнетизма Земли пока не удаётся.

Магнитное поле Земли представляет собой диполь, ось которого образует с осью вращения Земли угол около $11,5^\circ$ и не проходит через геометрический центр вращения нашей планеты. Северный полюс земного магнита расположен на юге, в Антарктиде, а южный – у северного побережья

Канады. На поверхности Земли напряженность естественного магнитного поля составляет около 0,5 Гс и сильно зависит не только от географических координат и высоты над поверхностью Земли, но и от времени суток. Кроме того, поведение магнитного поля Земли по всем своим параметрам весьма жестко связано с солнечной активностью.

Сравнение факторов, сопутствующих земному магнетизму и магнетизму планет Солнечной системы, выявляет в качестве неперенных одновременное наличие атмосферы и заметного суточного вращения планеты вокруг своей оси. Так, например, Венера, обладая мощной атмосферой, но при скорости вращения вокруг своей оси всего один оборот за свой один солнечный год заметного магнитного поля не имеет. Вместе с тем, Меркурий, имея весьма разреженную гелиевую атмосферу, но вращаясь вокруг своей оси со скоростью всего лишь в три оборота за свои два солнечных года, позволил КЛА «Маринер-10» (1974 г.) обнаружить свой магнетизм.

Таким образом, вся накопленная информация о магнетизме Земли и планет Солнечной системы позволяет с магнитодинамических позиций предположить два механизма образования геомагнетизма: кольцевые электрические токи вследствие суточного вращения электрических зарядов атмосферы и зарядов в недрах Земли, которые необходимо рассмотреть более детально.

1. Магнитосфера Земли

Современные представления о магнитном поле Земли сконцентрированы в приведенном ниже рис. 1, взятом из весьма авторитетного источника [18], куда добавлены автором новейшие сведения о распределении электрических зарядов в ионосфере Земли [19, 20] и др.



Рис. 1. (рис. 3 по [18]) Магнитосфера Земли

Здесь необходимо отметить особенность распределения ионосферного электричества в ночной атмосфере в связи с известной, так называемой, экваториальной аномалией, которая проявляется в экваториальных широтах в ночное время и заключается в уменьшении концентрации ионосферного электричества в полости тени Земли. Данное обстоятельство приводит к образованию «двугорбой» [20] графической зависимости величины $H(x, y)$ – магнитной напряженности от геомагнитных координат в субтропических поясах. В свете современной информации совершенно бесспорной первопричиной всех известных процессов в атмосфере Земли представляется солнечная радиация всех известных диапазонов.

В результате ионизации молекул атмосферного воздуха и светового давления на ионизированные частицы в верхних слоях атмосферы Земли образованы и поддерживаются соответствующе интенсивности наэлектризованные зоны, которые схематично можно представить как на рис. 2, где сплошной круг изображает сечение Земли экваториальной плоскостью, а штриховой круг – сечение её атмосферы. На рис. 2 буквами обозначены: ω – направление суточного вращения Земли, R_1, R_2, R_3 – расстояния от центра Земли соответствующих наэлектризованных зон ионосферы с дневной и ночной сторон, v_1, v_2, v_3 – линейные скорости движения этих зон, численные значения которых легко вычислить: $V_i = \omega R_i$.

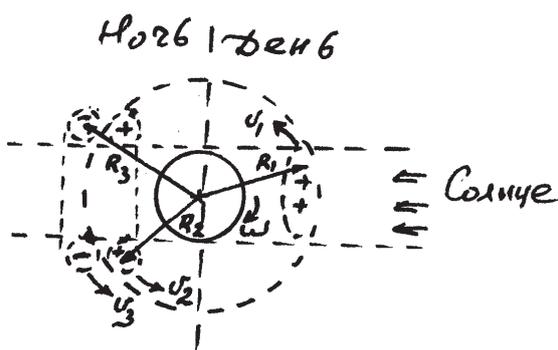


Рис. 2. Схема образования широтных кольцевых токов вокруг Земли

Учитывая различные формы и размеры наэлектризованных зон, то есть различные количества электричества Q_i каждой из этих зон, и различные их расстояния от центра Земли, то есть различные их линейные скорости V_i относительно поверхности Земли,

приходится признать, что в результате суточного вращения Земли по её широтам текут электрические токи различных направлений и величин, которые определяются конкретными значениями указанных параметров, создавая соответствующие по (2) $div T = \mu_0 \mu i$ поля магнитного натяжения.

2. «Двугорбая» графическая зависимость геомагнетизма от геомагнитных координат в субтропических поясах

Как уже отмечалось выше и указывалось в предисловии, современная геофизика не может ответить на вопрос о происхождении геомагнетизма. Вместе с этим, никто из специалистов не может ничего возразить по существу положения в статье [21], которое здесь целесообразно процитировать: «...Сравнение факторов, сопутствующих земному магнетизму и магнетизму планет Солнечной системы, выявляет в качестве неперенных одновременное наличие атмосферы и заметного суточного вращения планеты вокруг своей оси. Так, например, Венера, обладая мощной атмосферой, но при скорости вращения вокруг своей оси всего один оборот за свой один солнечный год заметного магнитного поля не имеет. Вместе с тем, Меркурий, имея весьма разреженную гелиевую атмосферу, но вращаясь вокруг своей оси со скоростью всего лишь в три оборота за свои два солнечных года, позволил КЛА «Маринер-10» (1974 г.) обнаружить заметный магнетизм.

Таким образом, вся накопленная информация о магнетизме Земли и планет Солнечной системы позволяет с магнитодинамических позиций предположить два механизма образования геомагнетизма: широтные кольцевые электрические токи вследствие суточного вращения электрических зарядов атмосферы и зарядов в недрах Земли...» [22].

Не воспроизводя здесь снова рис. 1. (Магнитосфера Земли) и рис. 2 (Схема образования широтных кольцевых токов вокруг Земли) из упомянутой статьи [21], представим описанную схему дополнительными схемами, позволяющие более детально увидеть распределение электричества в электризованных зонах ионосферы Земли.

На рис. 3 показан вид сбоку на атмосферу Земли с электризованной зоной с ночной стороны вокруг тени Земли, а на рис. 4 изображен вид А-А рис. 3, то есть взгляд на атмосферу Земли с ночной стороны.

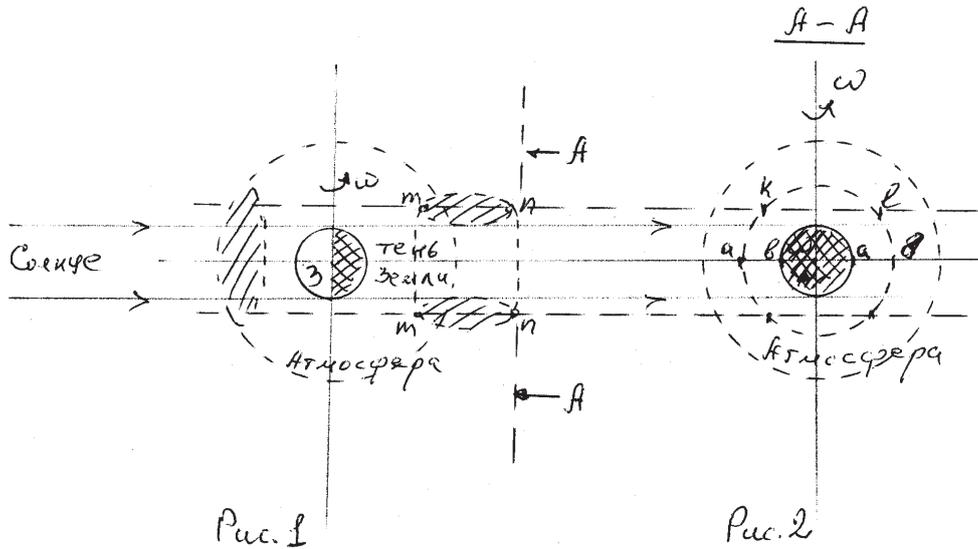


Рис. 3. (рис. 1 по [34]) Рис. 4 (рис. 2 по [34])

На этих рисунках обозначены: 3 – Земля, ω – направление вращения Земли вокруг своей оси, m и n – нижние и верхние границы электризованной зоны с ночной стороны, a и b – внутренние и внешние границы электризованной зоны с ночной стороны, k и l – внешние границы электризованной зоны с ночной стороны по сечению $m-n$. Из этих изображений на рис. 3 и рис. 4 ясно, что электризованная зона с ночной стороны атмосферы Земли представляет собой кольцо вокруг цилиндра тени Земли, размеры которого можно обозначить величинами: ширина кольца: $h = m - n$, радиальная толщина стенки кольца: $s = a - b$, толщина стенки кольца по сечению $m - n$: $y = k - l$.

Так как смещение любого сечения этой кольцевой электризованной зоны относительно оси вращения Земли определяется линейной скоростью по:

$$V_i = \omega R_i, \quad (15)$$

где R_i – радиус вращения данного сечения электризованной зоны, то можно вычислить величину широтного тока данного сечения электризованной зоны. Так как для

$$I_i = dQ_i / dt, \quad (16)$$

то для i -го сечения кольцевой электризованной зоны надо вычислить количество электричества

$$dQ_i = \rho \Delta z \Delta S_i, \quad (17)$$

вращающегося на данной широте вокруг оси вращения Земли, где ρ – объёмная плотность электричества в электризованной

зоне толщиной Δz и площадью ΔS_i i -го сечения, которое можно выразить через принятые нами выше размеры кольцевой электризованной зоны с ночной стороны атмосферы Земли: $\Delta S_{ir} = \Delta S_{ab} = sh$ – для радиальных сечений и $\Delta S_{ip} = \Delta S_{kl} = yh$ – для периферийных сечений кольцевой зоны по $m - n$. Таким образом, для любого радиального сечения кольцевой зоны по $a - b$ величина широтного ионосферного тока может быть выражена:

$$I_{ir} = \frac{d(\rho \Delta z \Delta S_{ir})}{dt} = \frac{d(\rho \Delta z sh)}{dt} \quad (18).$$

Аналогично выражается и величина широтного ионосферного тока любого периферийного сечения кольцевой зоны:

$$I_{ip} = \frac{d(\rho \Delta z \Delta S_{ip})}{dt} = \frac{d(\rho \Delta z yh)}{dt} \quad (19).$$

Так как из рис. 3 и рис. 4 очевидно, что 2^s – два радиальных сечения (с вечерней и утренней сторон Земли) ионосферы вместе меньше каждого из y – периферийных сечений ионосферы почти на целый диаметр Земли, то с учётом реальных размеров магнитосферы Земли (см. рис. 1 по [21]) величина количества электричества по (17): $dQ_{iy} = \rho \Delta z \Delta S_{iy}$ каждого знака периферийных зон $\Delta S_{ip} = \Delta S_{kl} = yh$ превосходит величину количества электричества $dQ_{ir} = \rho \Delta z \Delta S_{ir}$ радиальных зон $\Delta S_{ir} = \Delta S_{ab} = sh$ многократно. Таким образом, из наших схем на рис. 3 и рис. 4 совершенно ясно, что всегда радиальное сечение кольцевой электризованной

зоны $s = a - b$ много меньше периферийного сечения этой зоны $y = k - l$, поэтому сравнение выражений (18) и (19) приводит к однозначному выводу о «двугорбой» [20] графической зависимости величины $H(x, y)$ – магнитной напряженности от геомагнитных координат в субтропических поясах, понять которую на основе современных геофизических представлениях невозможно.

Более того, из приведенной оценки количества электричества ионосферных зон различных широт можно также заключить, что по каждой широте тропического пояса протекает два – вечерний и утренний – ионосферных электрических тока, то есть разделенные во времени, поэтому их общее магнитное поле меньше их алгебраической суммы, что дополнительно объясняет не только наш вывод о «двугорбой» графической зависимости величины $H(x, y)$ – магнитной напряженности от геомагнитных координат в субтропических поясах, но и поясняет причины суточных колебаний величины магнитного поля в указанном поясе широт [20].

3. Внутренние геосферы Земли

Классическая карта литосферных плит оболочки Земли, представленная на рис. 5, в современной геофизике не вызывает сомнений [23]. На этой карте отчетливо проявляются контуры литосферных плит оболочки Земли, обнаруживая зоны и направления столкновений между собой. Обращает на себя внимание яркая закономерность расположения поясов сейсмической активности

на поверхности нашей планеты, выдавая места и направления гигантских деформирующих усилий в коре.

В последние десятилетия XX века сейсмологические исследования методами продольных и поперечных сейсмических волн позволили составить карты сейсмических аномалий для различных глубинных на уровней нашей планеты. Фундаментальные работы американских сейсмологов во главе с Адамом Дзевонски показали изменения сейсмической картины, связанные с глубиной геосферы [24]. Различия в сейсмических характеристиках геосфер, представленные на рис. 6, характеризуют различия скоростей сейсмических волн в соответствующих зонах, в свою очередь отображают и различия этих зон в их физических свойствах, минеральном составе, напряжений деформации и т.д.

Для иллюстрации связи значений сейсмических скоростей в зонах мантии с физическими свойствами соответствующих пород здесь можно привести множество достоверных фактов из указанной фундаментальной работы [23] и др.

Примеры распределения скоростных аномалий в мантии Земли по результатам сейсмической томографии на различных глубинах: а – глубинный уровень 900 км, б – 1750 км, в – 2600 км. Белые и черные участки на позитиве соответствуют изменениям сейсмических скоростей от – 1,5% до +1,5% по отношению к средним значениям для геосферы на данном глубинном уровне.

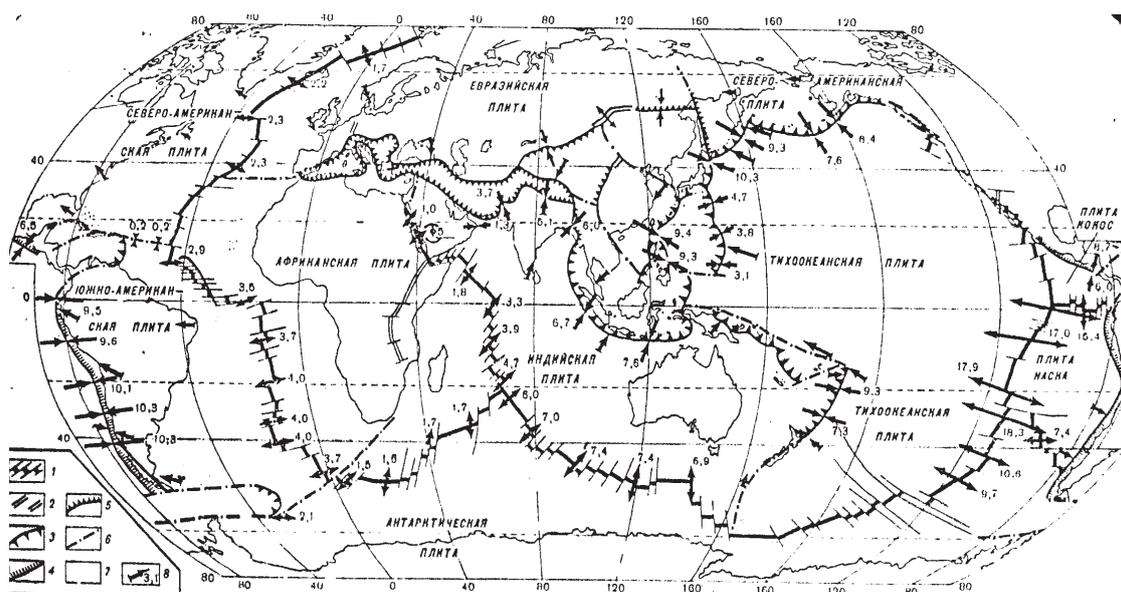


Рис. 5. (рис. 6.1 стр. 275 по [23])

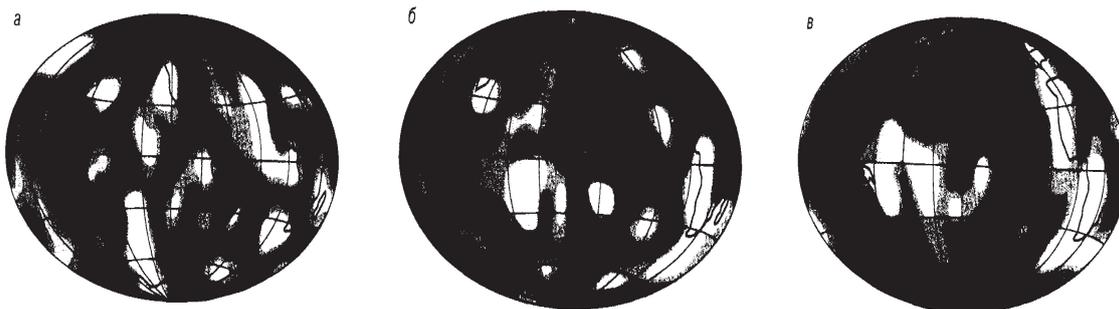


Рис. 6. (рис. 5 по [24])

4. Бародиффузионный механизм дифференциации земного вещества

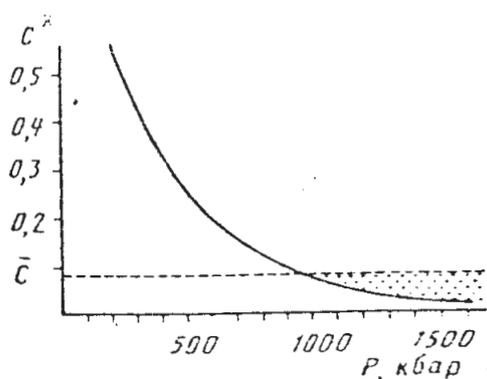


Рис. 7. (рис. 5.2 на стр.161 по [23])

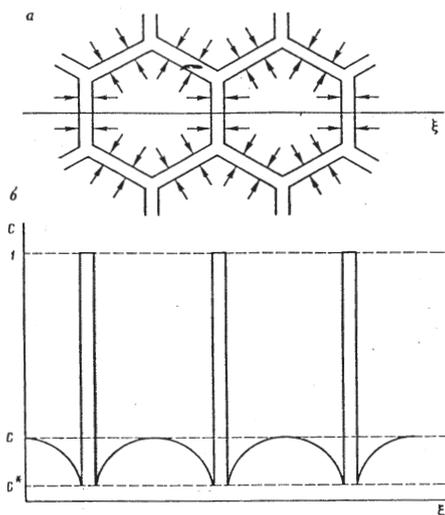


Рис. 8. (рис. 5.3 на стр.165 по [23])

На рис. 7 графически представлена установленная экспериментально и обоснованная теоретически [23] зависимость насыщения твёрдых растворов окислов железа в силикатах мантии Земли. Область развития бародиффузии окислов железа из силикатов мантии показана на графике крапом. На ос-

новании этих исследований вполне достоверно обоснован вывод геофизиков об уплотнении мантийного вещества при высоких давлениях, которое непременно сопровождается электронно-фазовыми переходами в атомах.

На рис. 8 наглядно представлено распределение концентрации Fe_2O в кристаллах силикатов нижних слоев мантии: а – направление диффузии окислов железа в кристаллах силикатов; б – распределение концентраций окислов железа в этих же кристаллах после процессов бародиффузии, приводящие к упорядочиванию распределения мантийного вещества.

5. Электризация кристаллических структур под действием силы тяжести

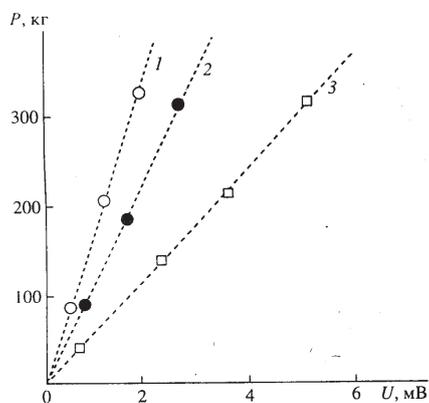


Рис. 9. (рис. 2 на стр.180 по [25])

Перечисление здесь закономерностей поведения кристаллических структур мантийного вещества, которое можно было бы продолжать, становится вполне уместным в свете исследований эффектов эмиссии зарядов при деформации металлов и сопутствующего образования внутренних и внешних электрических полей, сущность которых легко проясняется, например, в работе [25], выводы из которой представлены графически на рис. 9. в виде ярких зависимостей

величины напряжения на образцах различных металлов от нагрузки сжатия: графики пронумерованы: 1 – для стали, 2 – для меди, 3 – для латуни.

Этот наш вывод можно наглядно иллюстрировать рис. 10 и рис. 11.

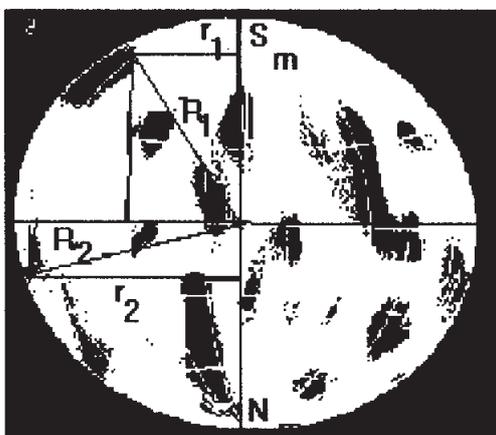


Рис. 10. Увеличение негатива рис. II-4-а с обозначенными радиусами суточного вращения различных участков аномалий данной глубинной геосферы: N и S – магнитные полюса, R_1 и R_2 – расстояния от центра Земли, r_1 и r_2 – радиусы суточного вращения аномалий данной геосферы

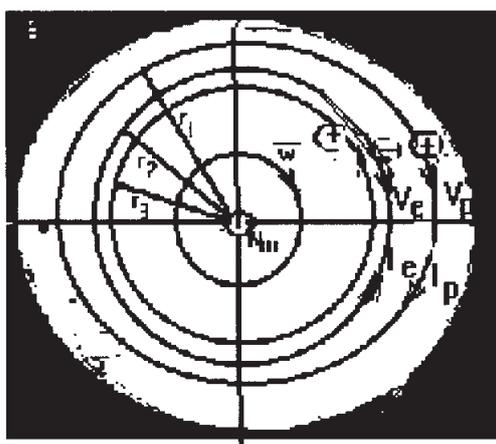


Рис. 11. Сечение Земли экваториальной плоскостью с траекториями суточного вращения аномальных участков различных глубинных геосфер: r_1, r_2, r_3 – радиусы геосфер, V_e и V_p – скорости движения зон, I_e и I_p – направления токов отрицательно и положительно электризованных зон

Учитывая теперь в связи с упомянутыми и другими закономерностями упорядочивания структур мантийного вещества Земли под действием давлений на разных

глубинных уровнях, можно заключить, что в недрах нашей планеты на различных геосферах в соответствии с выводами сейсмической томографии локализованы зоны положительного (сжатие) и отрицательного (растяжение) электричества.

Таким образом, в качестве вывода из всех выше перечисленных обстоятельств в глубинных геосферах здесь вполне обоснованно можно заключить, что вместе с суточным вращением нашей планеты совершают круговые движения и все электризованные зоны в её недрах, то есть все геосферы независимо от своих радиусов, характеров и интенсивностей своих аномалий создают системы кольцевых электрических токов различных величин и направлений, которые определяются конкретными значениями количества электричества и радиуса траектории вращения каждой электризованной зоны каждой геосферы всех глубинных уровней Земли, создавая соответствующие по (2) $div \vec{T} = \mu_0 \mu i$ поля магнитного натяжения.

Объединяя теперь этот наш вывод с выводом выше по п. III-1 о широтных ионосферных электротоках, можно сформулировать наш ответ на вопрос о природе геомагнетизма: магнитное поле Земли образовано и поддерживается в стационарном состоянии благодаря двум глобальным системам кольцевых электрических токов: широтным в ионосфере и геосферным в недрах планеты. При этом необходимо подчеркнуть, что электризованные зоны различных знаков в ионосфере смещаются относительно поверхности планеты в противоположном вращению Земли направлению, а геосферные электризованные зоны также различных знаков движутся по общему направлению вращения Земли. Так как направления магнитных полей электрических токов, созданных движением отрицательных и положительных электрических зарядов противоположны [10], и противоположны направления движений ионосферных и широтных электризованных зон, то исходя из фактического направления магнитного поля Земли, можно отметить преимущественный вклад в общее магнитное поле нашей планеты электрических токов за счёт широтных движений отрицательно электризованных зон ионосферы и положительно электризованных зон геосфер Земли.

Разумеется, на основании одного из основных принципов динамики систем

Д,Аламбера – Лагранжа, означающего, что действующие на каждую точку системы активные силы и силы реакций всевозможных связей полностью компенсированы силами инерции, то есть:

$$\sum_{i=1}^n (F_i^a - m_i w_i) \delta r_i = 0, \quad (20)$$

где δr_i – векторы возможных перемещений точек системы, необходимо отметить непременным условием стационарного состояния геомагнитного поля выполнение этого требования (17) динамики.

Другими словами, планета Земля со своим магнитным полем представляет собой магнитодинамическую машину в стационарном режиме работы, когда все электрические токи по всевозможным контурам между собой связаны силами электромагнитного взаимодействия.

Придерживаясь здесь понятий и определений магнитодинамики [10], можно отметить, что вектор-функция $\vec{T}(\vec{r})$ натяжения магнитных полей кольцевых токов, созданных движением геосферных и ионосферных электризованных зон в процессе суточного вращения Земли, ориентирована нормально к своим токам, являющимися «монополями» магнетизма по (2): $\text{div } T = \mu_o \mu i$. Вследствие этого положения и на основании принципа по (3): $\vec{T} = -\text{grad}H(x, y, z)$ напряженность $H(x, y, z)$ магнитного поля в действительности является величиной скалярной, а её силовые линии – это эквипотенциальные линии, которые в трёхмерном пространстве образуют сложные эквипотенциальные поверхности в полях магнитного натяжения...»

III. Геомагнитные механизмы экологических последствий современной ракетно-космической деятельности

Тезис Б. «...Во-первых, разрушение ионосферы, из-за чего на Землю начнет проникать “солнечный ветер”. Некоторые геофизики видят в этом главную опасность... Во-вторых, неизбежные климатические изменения – даже во время простых магнитных бурь усиливаются ветры, тайфуны, прочие негативные погодные явления, так как ионосфера – один из регуляторов климата. К сожалению, перемену климата предотвратить невозможно, можно попытаться только ослабить возможные последствия...» По существу этого тезиса из «ПОЙСКА» цитирую из публикации (Вер-

тинский П.А. Геоэкологические проблемы современной ракетно-космической деятельности. – URL: <http://www.econf.rae.ru/article/5036>. (см. [8], стр. 5-7)): «...Придерживаясь здесь понятий и определений магнитодинамики [2], можно отметить, что вектор-функция $\vec{T}(\vec{r})$ натяжения магнитных полей кольцевых токов, созданных движением геосферных и ионосферных электризованных зон в процессе суточного вращения Земли, ориентирована нормально к своим токам, являющимися «монополями» магнетизма по (2): $\text{div } T = \mu_o \mu i$. Вследствие этого положения и на основании принципа по: $\vec{T} = -\text{grad}H(x, y, z)$ (8) напряженность $H(x, y, z)$ магнитного поля в действительности является величиной скалярной, а её силовые линии – это эквипотенциальные линии, которые в трёхмерном пространстве образуют сложные эквипотенциальные поверхности в полях магнитного натяжения. Разумеется, на основании одного из основных принципов динамики систем Д. Аламбера – Лагранжа, означающего, что действующие на каждую точку системы активные силы и силы реакций всевозможных связей полностью компенсированы силами инерции, то есть:

$$\sum_{i=1}^n (F_i^a - m_i w_i) \delta r_i = 0, \quad (9)$$

где δr_i – векторы возможных перемещений точек системы, необходимо отметить непременным условием стационарного состояния геомагнитного поля выполнение этого требования (9) динамики. Представим себе околоземное космическое пространство как на рис. 12, где области электризованных зон ионосферы любой полярности обозначим белым цветом, чтобы наглядно себе представить прохождение активных участков траекторий запусков КЛА с космодромов, размещенных в экваториальных и умеренных широтах.

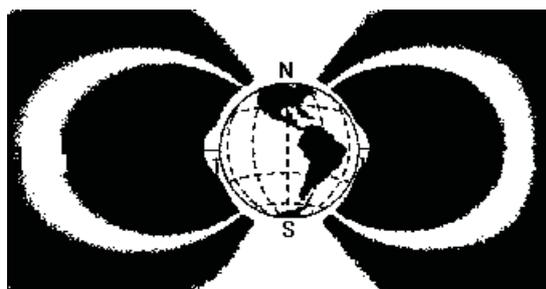


Рис. 12. Околоземный Космос

Вспомним здесь, что все национальные космодромы [10]: Байконур (43°с.ш., 80°в.д.), Капустин Яр (47°с.ш., 32°в.д.), Плесецк (65°с.ш., 40°в.д.), Свободный (50°с.ш., 126°в.д.), Канавералл (28°с.ш., 82°з.д.), Ванденберг (28°с.ш., 128° з.д.), Шуангенцзы (41°с.ш., 100°в.д.), Тайюань (38°с.ш., 112°в.д.), Сичан (28°с.ш., 102°в.д.), Кагасимо (45°с.ш.), Танегасимо (44°с.ш.), Шрихариота (13°с.ш., 80°в.д.), Мыс Йорк (12°ю.ш.), Куру (5°с.ш.) и даже передвижные космодромы плавучие «Одиссеи» и летучие «Русланы» предпочтительно базируются поближе к экваториальным широтам.

Чтобы оценить изменение количества электричества ΔQ_i i -ой электризованной зоны, схематично изобразим [6] как на приведенном ниже рис. 13, где обозначено: O – точка запуска ракеты носителя КЛА на поверхности Земли, O_1 – точка вхождения активного участка траектории КЛА в ионосферу снизу, O_2 – точка выхода активного участка траектории КЛА из ионосферы сверху, АВ и СД – области канала ионизированного газа вокруг активного участка траектории КЛА на входе и выходе из ионосферы соответственно, A_1B_1 и C_1D_1 – нормальные проекции областей АВ и СД на поверхность Земли, A_2B_2 – теневая проекция участка $a-v$ верхнего слоя ионосферы на поверхность Земли через область АВ в нижнем слое ионосферы. Знаки электричества слоёв ионосферы показаны в соответствии со схемой упомянутой статьи [6].

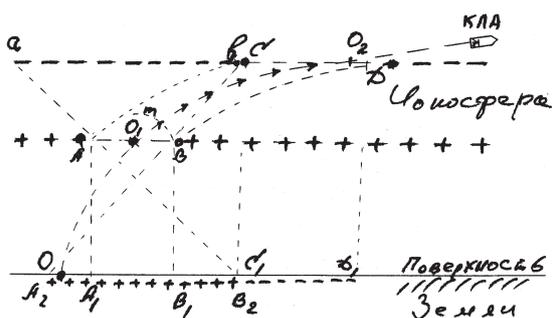


Рис. 13. Изменение количества электричества ΔQ_i i -ой электризованной зоны

Для оценки изменения количества электричества ΔQ_i i -ой электризованной зоны на рис. 13 необходимо обратить особое внимание на площадь сечения канала ионизированного газа вокруг активного участка траектории КЛА в ионосфере Земли, которое многократно превосходит площадь сечения реактивной струи из сопел ракеты – носите-

ля КЛА, так как температура и давление в реактивной струе после её истечения из сопел превосходит эти параметры в окружающей ионосфере на много порядков. Знаки электричества слоёв ионосферы показаны в соответствии со схемой упомянутой статьи [6]. При плотности заряженных частиц порядка 10^6 1/см³ и их линейной скорости суточного вращения вместе с Землей порядка 0,5 км/сек это изменение количества электричества приводит к изменению величины широтного ионосферного тока на МА! Представим себе в этом свете изменение сил по $f_i = T(I_i \Delta l)$ (9) [6] в магнитосфере Земли и вспомним, например, как от громкого возгласа в горах сдвигаются снежные лавины, высвобождая свою энергию на разрушение всего на своём пути! Прямым фактическим подтверждением отмеченного выше обстоятельства являются результаты мониторинга ионосферы системой ГЛОНАС, как об этом сообщает на стр. 8 академической газеты «ПОИСК» № 51 от 21.12. 2007, откуда следует вывод о том, что «если следить за ее состоянием, то ни один запуск космического корабля, ракеты, спутника не останется незамеченным» и рис. 14, на котором отчётливо видно на порядок-два и даже три превышение амплитуды «возмущения», к.п.д. которого не превышает доли процентов.

Именно подобные ситуации позволили Н. Ф. Реймерсу [11] обобщить «... для энергетических процессов или воздействия на них порог «спускового крючка» или триггерного эффекта (например, при наведенных землетрясениях (!)) составляет 10^{-6} – 10^{-8} раз от наблюдаемой нормы энергетического состояния...». Особое внимание на рис. 13 обращает равноправность направлений образования криволинейного цилиндра $O_1 - O_2$ через слой ионосферы: снизу вверх (запуск КЛА) или сверху вниз (посадка КЛА), так как реактивные струи раскаленных газов из сопла ракеты-носителя при запуске КЛА или из сопел реактивных двигателей торможения КЛА при посадке в одинаковой степени нарушают слой ионосферы, изменяя лишь очередность образования электризованных областей на поверхности Земли под основаниями этого цилиндра. Данный вывод фактически подтверждается при каждом рейсе КЛА типа ШАТТЛ, последний из которых «Дискавери» № 35 запущен на орбиту к МКС 31.05.2008 с мыса Канаверал и посажен там же 14.06.2008.

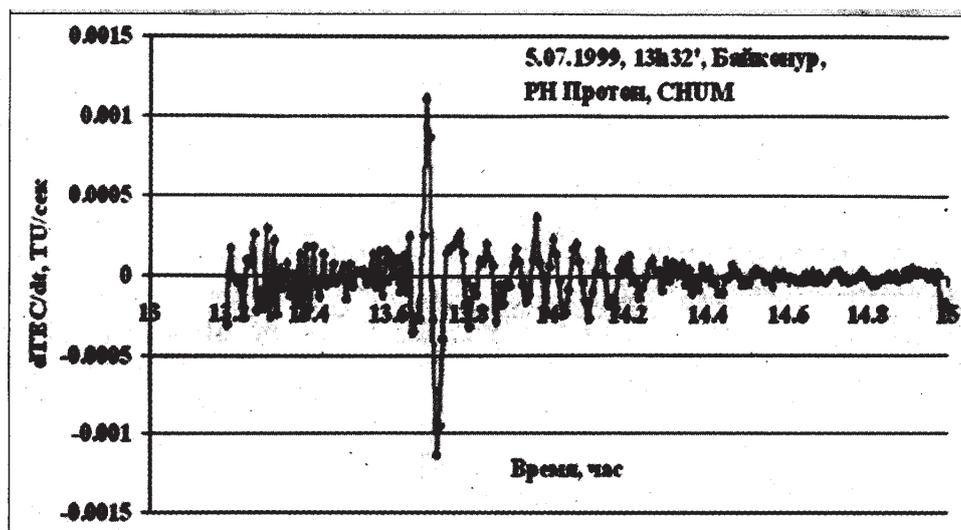


Рис. 14. Ионосферный отклик на запуск ракет с космодрома «Байконур»

Здесь только напомним сведения из интернет-сайта <http://www.americanru.com/> метеосведения: затихшее после 12.05.2008 землетрясение в провинции Сычуань (КНР) внезапно возобновилось 03.06.2008, достигая магнитуд до 7 баллов 05.06.2008, свидетельствуя о возмущении магнитосферы Земли запуском «Дискавери» №35, а многочисленные метеосообщения о невиданных наводнениях в долине Миссури и в восточных штатах Индии после посадки «Дискавери» №35 подтверждают образование двух мощных дополнительных циклонов в атмосфере Земли аналогично ураганам 31.08.2005 «Катрина» в США и 03.09.2005 «Бабочка» в Японии...».

IV. Накопление статистических материалов в подтверждение объективности функциональных причинно-следственных связей между запусками космических ракет с глобальными катаклизмами в эру космонавтики

Тезис В. «...Магнитное поле таит в себе еще много загадок. Например, за последние годы по данным, полученным сотрудниками магнитной обсерватории «Новосибирск», скорость движения магнитного полюса, вычисленная по изменению минутных и секундных значений склонения и наклонения, может достигать во время магнитной бури скорости звука! При этом движение полюса не является хаотичным, а представляет собой набор петель различного размера и направления...» последствия...».

По существу этого тезиса из «ПОИСКА» цитирую из публикации (Вертинский П.А. Механизмы возникновения и особенности поведения глобальных катаклизмов в космическую ЭРУ. – URL: <http://www.econf.gae.ru/article/7152> (см. [13], стр.2-3)):

«...В опровержение мнения канцеляристов из Роскосмоса и других ведомств, *приверженных к хищническому природопользованию*, Природа регулярно грозно напоминает нам об объективности своих законов. В этом свете следует особо выделить наиболее ужасные катаклизмы, последствия которых человечество не сможет забыть никогда:

1. 23.04.1986 осуществлен запуск мощного КЛА с космодрома Байконур, а 26.04.1986 произошла катастрофа на Чернобыльской АЭС.

2. 02.12.1988 осуществлен запуск мощного КЛА с космодрома на мысе Канаверал, а 07.12.1988 произошло страшное землетрясение в Спитаке (Армения).

3. 21.12.2004 осуществлен запуск мощного КЛА с космодрома на мысе Канаверал, а 25.12.2004 произошло землетрясение в Индийском океане, породившее страшное цунами в Индонезии...

4. 17.08.2005 с борта АПЛ «Екатеринбург» запущена ракета Р-29РМ, и спустя 30 минут головная часть ракеты успешно поразила цель на полигоне «Кура» на Камчатке, а 23.08.2005 у Багамов начал формироваться ураган Катрина, до Нью-Орлеана (США) он пришел 27.08.2005.

5. 31.05.2008 с мыса Канаверал запущен на орбиту «Дискавери» № 35, а 03.06.2008 внезапно возобновилось, достигая магнитуд до 7 баллов 05.06.2008, землетрясение в провинции Сычуань (КНР).

6. 14.06.2008 на мысе Канаверал посажен «Дискавери» № 35, а 19.06.2008 последовали многочисленные метеосообщения о невиданных наводнениях в долине Миссури и в восточных штатах Индии.

7. 11.08.2009 запуск ракеты-носителя «Протон-М» с космическим аппаратом AsiaSat-5, а 17.08.2009 произошла авария на Саяно-Шушенской ГЭС.

8. Конец 2009 – начало 2010 годов отмечен секретными учебно-боевыми запусками ракет, из которых сообщалось лишь, что: 24.12.2009 РВСН провели пуск РС-20В («Воевода») и др.; 29.12.2009 с космодрома Байконур стартовала ракета-носитель «Протон-М» с американским спутником DirecTV-12, а 12.01.2010 землетрясение на Гаити М 7.

9. 22.02.2010 – на мысе Канаверал приземлился «Индевор», а 27.02.2010 в Чили (Сантьяго) землетрясение М 8,8.

10. 17.04.2010 Шаттл Discovery STS-131 отстыковался от МКС и перешёл в режим

автономного полёта, и 20.04.2010 осуществлена успешная посадка шаттла Discovery STS-131, а 22.04.2010 пришли сообщение всех СМИ, что в Мексиканском заливе затонула нефтяная платформа Deepwater Horizon, управляемая компанией BP (British Petroleum). Нефтяное пятно достигло побережья штата Луизиана и берегов Флориды и Алабамы.

11. 14.05.2010 из Космического центра имени Кеннеди стартовал комплекс Atlantis с экипажем на МКС, а 20.05.2010 мостовой переход через Волгу словно огромное живое существо начал двигаться вверх-вниз с амплитудой полутора-двух метров.

12. 02.03.2010 с Байконура запущены три навигационных спутника, а 04.03.2010 в средиземном море лайнер Louis Majesty попал в зону сильных волн высотой до 8 метров. Корабль получил повреждения, погибли два человека, и еще несколько получили серьезные травмы.

Инфографика с сайта <http://eco.ria.ru/ecoinfo/20111023/468633175.html>, представленного на рис. 15, свидетельствует, что **все крупнейшие геологические катастрофы последних десятилетий вызваны запусками космических ракет!...**



Рис. 15. Крупнейшие геологические катастрофы последних десятилетий

У. Техногенное нарушение энергетического баланса природной среды

Тезис Г. «...Почему магнитное поле дрожит? Ничто твердое в земном ядре с такой скоростью колебаться не может. По-видимому, это дрожание наведенное – магнитное поле отражает колебания ионосферы. А, может быть, найдется какое-то другое объяснение. Требуется продолжать исследования проблем, связанных с изменением “магнитной погоды” и “магнитного климата”...» По существу этого тезиса из «ПОИСКА» цитирую из публикации (Вертинский П.А. Обращение к президенту России В.В. Путину. – URL: <http://viperson.ru/wind.php?ID=676054> (см. [16], стр.9-23)):

«...Все вышеизложенные выводы на основе магнитодинамической природы геомагнетизма постоянно подтверждаются ужасающей статистикой глобальных катаклизмов, являющихся проявлением геомагнитных механизмов геоэкологических последствий современной ракетно-космической деятельности, подтверждаемых сообщениями многочисленных СМИ, только за последние год-полтора на интернет-сайтах.

Только в конце июля – августе 2014 года проведено восемь космических запусков (таблица).

Из новостей Роскосмоса: «...Из Гвианского космического центра состоялся пуск российской ракеты-носителя «Союз-СТ-Б»

22.08.2014 16:30 22 августа в 16 часов 27 минут московского времени из Гвианского космического центра (ГКЦ, Французская Гвиана) совместными расчетами российских и европейских специалистов выполнен пуск российской ракеты-носителя «Союз-СТ-Б» с разгонным блоком «Фрегат-МТ» и двумя европейскими космическими аппаратами «Галилео FOC». В расчетное время головной блок в составе разгонного блока «Фрегат-МТ» и двух КА «Галилео FOC» отделился от третьей ступени ракеты-носителя и продолжил полет. Данный пуск РН «Союз-СТ» с космодрома Куру – девятый в рамках российско-европейской программы «Союз» в ГКЦ». В полном соответствии с выводами на основе магнитодинамической природы геомагнетизма последовали многочисленные сообщения СМИ о новых катаклизмах, порождённых упомянутыми КЛА, например: на сайте http://kmechte.ru/zemletryasenia_2013.htm новейшие землетрясения. По всему миру за период с 06.08.2014 до 06.09.2014 всего зарегистрировано 492, из которых оказалось 381 мелкофокусных, то есть $R=381/111=3,43$, что превышает $R=2,14$ для докосмического периода с 1901 по 1950 годы в 1,5 раза (см. в таблице 1 монографии Дмитриев А.Н. и Шитов А.В. Техногенное воздействие на природные процессы Земли. Проблемы глобальной экологии. – Новосибирск: ИД “Манускрипт”, 2003).

Космические запуски, проведенные в конце июля – августе 2014 года

28.07 23:28	Канаверал SLC-37B	Дельта-4М+(4,2)	2014-043A	GSSAP-1	GSSAP ^[en]
			2014-043B	GSSAP-2	GSSAP ^[en]
			2014-043C	ANGELS ^[en]	
29.07 23:47	Куру ELA-3	Ариан-5 ES	2014-044A	Жорж Леметр ^[en] (ATV-005)	ATV
02.08 03:23	Канаверал SLC-41	Атлас-5 v401	2014-045A	USA-256 ^[en] (GPS IIF ^[en] -7)	GPS ^[en]
05.08 08:00	Канаверал SLC-40	Фалькон-9 v1.1	2014-046A	AsiaSat 8 ^[en]	
09.08 9:45	Цзюцюань SLS ^[en] -2	Великий поход-4С	2014-047A	Яогань-20А	Яогань
			2014-047B	Яогань-20В	Яогань
			2014-047C	Яогань-20С	Яогань
13.08 22:30	Ванденберг SLC-3 ^[en] E	Атлас-5 v401	2014-048A	WorldView-3 ^[en]	ДЗЗ
19.08 03:15	Тайюань LC-9	Великий поход-4В	2014-049A	GaoFen 2	ДЗЗ
			2014-049B	Heweliusz ^[pl] (BRITE-PL2)	
22.08 12:27	Куру ELS ^[en]	Союз-СТБ	2014-050A	Galileo FOC FM01	Галилео
			2014-050B	Galileo FOC FM02	Галилео

VI. Заключение

Таким образом, чтобы ответить на вопрос в заглавии статьи: чем, как и кто грозит движением магнитного поля Земли, приходится признать, что история нашей потребительской цивилизации человечества в настоящее время подошла к своему главному *парадоксу*: техническое «покорение» Природы (атомная энергетика, космонавтика, инженерная генетика...) по своим последствиям (Чернобыльская катастрофа, цунами 27.12.2004 в Индонезии, СПИД, «куриный грипп»...) [См. «ЗМ» №17-18 (487-488)/06.09.2006, стр. 25 и др.] стало глобальным, а разработка и применение этих глобальных технологий остались частными, в лучшем случае корпоративными или национальными, в ведении отдельных монополий, государств или их союзов (НАТО, ЕВРОКОСМОС и т.п.). Отмеченный выше *парадокс* можно представить себе в виде наглядного обстоятельства, когда несколько государств связаны общей акваторией (Амур, Дунай и пр.), но промышленные стоки в этот общий бассейн сбрасывают отдельные из них, не отдавая себе отчёта за воздействие на население соседних стран. Этот наглядный пример даже воображать себе не требуется – достаточно вспомнить аварии на химических заводах в КНР на берегу Сунгари зимой и летом 2006 года, приведшие к загрязнению бассейна Амура, одним из скорых последствий которого явилась эпидемия менингита среди преимущественно детей в Хабаровском крае в августе-сентябре 2006 года!

Проблемы глобализации сегодня освещаются СМИ еще чаще и глубже, чем проблемы экологии, здесь мнений и противоречий ещё больше, чем в экологических публикациях, но нельзя не согласиться с выводом, что «...Нельзя строить будущее с политическим инструментарием прошедшей эпохи». (См., например, Кувалдин В. Глобализация – светлое будущее человечества? // «ЗМ» № 19-20/2005, стр. 8) и др. В любой сфере своей деятельности и при всём своём разнообразии человеческие сообщества для успешного своего функционирования вырабатывают, провозглашают и неукоснительно исполняют соответствующие принципы: партийные Уставы, моральные Кодексы, религиозные Заповеди, государственные Конституции. Так как планета Земля у всех нас единственная, то независимо от многообразия всех наших Уставов, Кодексов, Запове-

дей и Конституций общим для всех людей может быть лишь единственный принцип, открытый еще Н.Ф. Реймерсом: «Физика Земли должна быть неизменной».

На основании изложенного о причинно-следственных связях запусков КЛА с возникновением и особенностями поведения глобальных катаклизмов в космическую эру, можно заключить, что планета Земля со своим магнитным полем представляет собой магнитодинамическую машину в стационарном режиме работы, когда все электрические токи по всевозможным контурам между собой связаны силами электромагнитного взаимодействия, из чего объективно следуют выводы:

1. После запуска КЛА в ионосфере Земли образуется криволинейный цилиндрический канал с осью O_1O_2 длиной в несколько сотен или даже тысяч километров, в зависимости от конкретных условий запуска КЛА, а сечение этого канала исчисляется также тысячами квадратных километров! Это значит, что объём канала ионосферы, в котором рекомбинация ионов раскалённого газа реактивной струи нарушает равномерность распределения электрических зарядов на значительный период восстановления её за счёт фотоионизации и светового давления, исчисляется миллионами кубических километров, тем самым обеспечивая образование минимум двух дополнительных циклонов в атмосфере Земли! При этом мощности дополнительных циклонов, отличаясь друг от друга, превосходят мощности естественных циклонов многократно, позволяя однозначно определить техногенный характер их происхождения.

2. При возмущении магнитосферы после запуска КЛА вследствие изменения на ΔQi количества электричества Qi i -ой электризованной зоны ионосферы, через который пролегает активный участок траектории ракеты – носителя КЛА, вызывая изменение величины соответствующего кольцевого тока и величины внутреннего электрического поля Земли, сразу же приводя к изменению электрических сил между геосферными электризованными зонами, чтобы обеспечить выполнение фундаментального положения динамики системы

$$\sum_{i=1}^n (F_i^a - m_i w_i) \delta r_i = 0$$

запуская, таким образом, механизм землетрясений. При этом гипоцентры землетря-

сений являются мелкофокусными, что и выдаёт техногенное происхождение землетрясения. Кроме того, малые потери сейсмических волн на пути к поверхности от мелкофокусных гипоцентров и объясняют высокую разрушительную мощность наведенных землетрясений, позволяя однозначно определить техногенный характер их происхождения.

3. Вместе с тем, нам нечего возразить К.Э. Циолковскому, что «Земля – колыбель человечества, но нельзя же вечно жить в колыбели». Так как устранить последствия природных катаклизмов невозможно (нельзя оживить погибших людей, возместить материальный ущерб), то единственным способом защиты людей Земли от последствий катаклизмов может лишь профилактика этих катаклизмов, то есть предотвращение самой причины возмущения магнитосферы Земли путём переноса всех космодромов в заполярные широты. Вспомним, что все национальные космодромы предпочтительно базируются поближе к экваториальным широтам. Поэтому единственно объективной мерой обеспечения экологической безопасности космонавтики может стать всемирный мораторий на запуски КЛА со всех космодромов, широты которых менее 72° , оставив только подвижные космодромы «Одиссей» и «Руслан», которые временно, до сооружения заполярных космодромов, могут выполнять неотложную нагрузку для обеспечения работы действующих космических программ, в том числе и обеспечение функционирования МКС, если базирование этих подвижных космодромов обеспечить за пределами широты 72° .

Общие выводы

1. В результате анализа на основе магнитодинамической природы геомагнетизма статистики крупных природных катаклизмов в эпоху космонавтики на фоне запусков мощных КЛА приходится констатировать, что все техногенные катастрофы в указанный период (авария на Чернобыльской АЭС 26.04.1986, катастрофическое землетрясение в Спитаке (Армения) 07.12.1988, страшное цунами в Индонезии 25.12.2004, разрушительный ураган «Катрина» над Новым Орлеаном в США 31.08.2005, землетрясение в провинции Сычуань КНР 05.06.2008, невиданные наводнения в долине Миссури и в восточных штатах Индии 19.06.2008, авария на Саяно-Шушенской ГЭС 17.08.2009,

землетрясение на Гаити 12.01.2010, землетрясение в Чили (Сантьяго) 27.02.2010, разрушение нефтяной платформы Deepwater Horizon в Мексиканском заливе 22.04.2010 и др.) явились результатами возмущений магнитосферы Земли, спровоцированных запусками КЛА.

2. Так как устранить последствия природных катаклизмов невозможно (нельзя оживить погибших людей, возместить материальный ущерб), то единственным способом защиты людей Земли от последствий катаклизмов может лишь профилактика этих катаклизмов, то есть предотвращение самой причины возмущения магнитосферы Земли путём переноса всех космодромов в заполярные широты.

3. Так как единственно возможное для экологически безопасной космонавтики размещение космодромов в заполярных широтах делает бессмысленным само существование ракетно-космической войск, то самым простым способом ракетно-космического разоружения становится передача всей материально-технической базы и профессиональных кадров всех космических держав в распоряжение заполярных космодромов.

4. Так как пресловутый «ядерный щит» без ракетно-космических войск не имеет смысла, то самым простым способом ядерного разоружения становится передача всей материально-технической базы и профессиональных кадров всех ядерных держав в распоряжение энергетических ведомств.

5. Так как и ядерное оружие, и ракетные средства всегда были целью террористов различного толка, то единственно возможной профилактикой овладения террористами этими средствами массового уничтожения является передача всех национальных и союзных космических агентств и атомно-энергетических ведомств единой наднациональной международной организации под эгидой ООН с правами и обязанностями исследований, разработок, строительства и эксплуатации объектов для продажи на принципах равноправия всем потребителям услуг космических программ и энергоснабжения, а также контроля их использования в заявленных целях.

Список литературы

1. Vertinskii P.A. On magnetodynamics of stationary geomagnetism // XII Joint International Symposium Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. – Tomsk: Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 2005.

2. Вертинский П.А. К магнитодинамике стационарного геомагнетизма // Вестник ИРО АН ВШ РФ. – Иркутск: БГУ-ЭП, 2005. – № 1(6). – С. 5-26; сб. матер. VIII МНС-2005. – Красноярск: КГУ, 2005.
3. Вертинский П.А. Геомагнитные механизмы экологических последствий ракетно-космической деятельности. Всесибирский Конгресс женщин-математиков. – Красноярск: ИВМ СО РАН, 2006 // Вестник ИРО АН ВШ РФ. – 2006. – № 3 (10). – С. 124-140.
4. Вертинский П.А. Природа геомагнетизма с позиций магнитодинамики. – URL: <http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/publications/vert1.doc>
5. Вертинский П.А. Геоэкологические проблемы современной ракетно-космической деятельности. – Усолье-Сибирское, Иркутск: ИрГСХА, 2009. – URL: http://biblioteka-dzvon.narod.ru/docs/GEOEKOLOGIQ_- PDF.mdi
6. Вертинский П.А. Нравственные перспективы экологических проблем. – URL: <http://www.econf.rae.ru/article/5099>.
7. Вертинский П.А. Магнитодинамическая природа геомагнетизма. – URL: <http://www.econf.rae.ru/article/5051>.
8. Вертинский П.А. Геоэкологические проблемы современной ракетно-космической деятельности. – URL: <http://www.econf.rae.ru/article/5036>.
9. Vertinsky P.A. The geoecological challenges of the modern space rocket activity. – URL: <http://www.econf.rae.ru/article/8528>.
10. Вертинский П.А. Техногенное нарушение энергетического баланса природной среды. – URL: <http://www.econf.rae.ru/article/5074>.
11. Вертинский П.А. Сейсмические модели полигармонического резонанса. – URL: <http://www.econf.rae.ru/article/5379>
12. Вертинский П.А. Гидромеханические проявления сейсмических волн как причина аварии на Саяно-Шушенской ГЭС. – URL: <http://econf.rae.ru/pdf/2011/06/402.pdf>
13. Вертинский П.А. Механизмы возникновения и особенности поведения глобальных катаклизмов в космическую эру. – URL: <http://www.econf.rae.ru/article/7152>
14. Вертинский П.А. Официальная позиция относительно объективного проявления геофизических механизмов возникновения и особенностей поведения глобальных катаклизмов в космическую эру. – URL: <http://www.econf.rae.ru/article/8489>
15. Вертинский П.А. Письма по геоэкологическим проблемам современной ракетно-космической деятельности. – URL: <http://www.econf.rae.ru/article/7785>
16. Вертинский П.А. Обращение к президенту России В.В. Путину. – URL: <http://viperson.ru/wind.php?ID=676054>
17. Вертинский П.А., Обращение к энергетикам в связи с полным восстановлением Саяно-Шушенской ГЭС после аварии 17 августа 2009 года. – URL: <http://viperson.ru/wind.php?ID=661837>

УДК 621.383; 621.472(575.4)

НАУЧНЫЙ ОБЗОР: ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В РАЗВИТИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ ТУРКМЕНИСТАНА

Пенджиев А.М.

*Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, Ашхабат,
e-mail: ampenjiev@rambler.ru*

В статье рассматривается научный обзор геоинформационные системы (ГИС) и создание геоинформационных технологий (ГИТ), которые позволяют оперативно и подробно анализировать на основе имеющейся географически привязанной информации различные альтернативные варианты для проведения оценки последствий вариантов проектирования установок, в той или иной области ветроэнергетики с целями обеспечения устойчивого развития региона. В основном это относится к энергетическим объектам и системам, использующие ветроэнергетические ресурсы, с их высокой пространственной и временной неравномерностью и изменчивостью. В соответствии со стоящими задачами, определяющими необходимые расчетные параметры, и встают требования к исходной физико-географической, природно-климатической, метеорологической, ветроэнергетического ресурсов и информации энерго-экопотенциала, необходимой для создания базы данных ГИС. Оценки ветроэнергоресурсов и его распределения по территории затруднено ограниченностью объема энергопотенциала по времени и в пространстве. С помощью ГИС можно решить энергетические, экономические, экологические, социальные вопросы и возможности смягчения изменения климата на основе ветроэнергетических установок, и их ресурсы, экологические выгоды, цели и задачи на научно-методических основах в области ветроэнергетики для реализации государственных программ Туркменистана энергообеспечения региона. На основе ГИС технологий составлена карта ветроэнергетических ресурсов и экологических потенциалов на территории Туркменистана.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, ветроэнергетика, геоинформационные системы, технологический, эконенергетика, экология, экобизнес, Туркменистан.

THE SCIENTIFIC REVIEW: GEOINFORMATION SYSTEMS IN DEVELOPMENT WIND OF POWER IN TURKMENISTAN

Penjiyev A.M.

Turkmen State Institute of Architecture and Construction, Ashabad, e-mail: ampenjiev@rambler.ru

In article the scientific review geoinformation systems (GIS) and creation geoinformation technologies (GIT) which allow operatively and to analyze in detail on the basis of the available geographically adhered information various alternative variants for carrying out of an estimation of consequences of variants of designing of installations, in this or that area of solar power c the purposes of maintenance of a sustainable development of region is considered. Basically it concerns power objects and the systems, using solar power sources, with their high spatial both time non-uniformity and variability. According to the standing problems defining necessary settlement parameters, also there are requirements to initial fiziko-geographical, prirodno-climatic, metrological, solar power resources and information энерго-экопотенциала, database GIS necessary for creation. Estimations of solar power resources and its distribution on territory it is complicated by limitation of volume energy potential (энергопотенциала) on time and in space. By means of GIS it is possible to solve power, economic, ecological, social questions and possibilities of softening of change of a climate on the basis of solar power installations, and their resources, ecological benefits, the purposes and problems on scientifically-methodical bases in the field of solar power for realisation of government programs of Turkmenistan of power supply of region. On the basis of GIS technologies the database is made, empirical formulas of solar power resources and ecological potentials on areas of Turkmenistan are deduced.

Keywords: renewable energy, wind energy, geographic information systems, technology, bio-energy, ecology, ekobiznes, Turkmenistan.

Актуальность проблемы. Предметно и заинтересованно рассматриваются и возможности отправки туркменских энергоносителей в западном направлении. Наша энергетическая стратегия основывается на принципе многовариантности энергетических потоков, расширения их географии, вовлечения все большего числа стран, заинтересованных в участии в международных энергетических процессах. Это не механическое складывание государств и территорий в некие искусственные схемы, подчеркнул Президент Гурбангулы Бердымухамедов на состоявшемся Форуме Энергетической Хартии «Надежный и стабиль-

ный транзит энергоносителей» 9 декабря 2014 г. Речь здесь идет об объективных тенденциях в геоэкономике, когда именно диверсификация, наличие альтернативных маршрутов поставок выступают решающим условием глобальной энергетической безопасности, устойчивости всей системы мирохозяйственных связей, их гарантий от односторонности и структурных деформаций. В этом, на наш взгляд, заключена сама суть устойчивой энергетики, сказал лидер нации.

При этом Туркменистан отводит особую роль вопросам энергоэффективности и энергосбережения, использования возоб-

новляемых источников энергии. Их обсуждение сегодня должно стать важнейшей и органичной частью международного энергетического диалога, выразил убежденность глава государства. Бережное и дальновидное отношение к экологии, к сохранению естественной природной среды – еще один ключевой компонент современного энергетического цикла. Объективное требование дня – использование инновационных технологий и методов управления при создании энергетической производственной и транзитной инфраструктуры. Высокая экологичность мировой добычи углеводородов сегодня становится синонимом ее эффективности.

Наша общая задача – совместить объективные экономические интересы, реалии международного партнерства с необходимостью сохранения экологического баланса. В этом контексте Туркменистан готов к дальнейшему расширению и активизации сотрудничества с международными структурами с целью минимизации экологических рисков при добыче энергоресурсов, внедрения в производственный цикл эффективных защитных технологий, применения современных управленческих решений. Лидер нации также подчеркнул, что в нашей стране методы добычи углеводородных ресурсов сегодня отвечают самым высоким экологическим стандартам, создана соответствующая нормативно-правовая база.

Принятая «Национальная стратегия Туркменистана по изменению климата» подразумевает поэтапный переход всех основных сфер производственной деятельности государства на параметры экологической безопасности. Эта стратегия предусматривает приоритетность развития высокотехнологичных отраслей, создание условий для развития «зеленой экономики» в качестве базового элемента функционирования всей инфраструктуры жизнеобеспечения страны. Это в полной мере относится к сфере топливно-энергетического комплекса. Мы признательны международным организациям, и прежде всего Организации Объединенных Наций, ее специализированным агентствам за конструктивный подход и оказанное содействие в этих вопросах. Мы готовы к самому тесному взаимодействию в рамках Энергетической Хартии, заявил Президент Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов [1, Газета «Нейтральный Туркменистан» 10.12.2014 г].

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет собой одну из глобальных мировых проблем, успешное решение, которой будет иметь определяющее значение не только для дальнейшего развития мирового сообщества, но и для сохранения среды его обитания – биосферу. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии [1,24,31-33].

Несмотря на то, что современная энергетика в основном базируется на невозобновляемых источниках энергии (около 80% в мировом энергетическом балансе составляют нефть, газ и каменный уголь), интерес к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) неуклонно растет. Главными аргументами для использования ВИЭ являются высокая цена традиционного топлива, энергетическая безопасность для стран-импортеров нефти и газа и проблемы охраны окружающей среды.

В этой связи одной из важнейших научно-технических проблем народного хозяйства в энергетической отрасли является обеспечение геоинформационными технологиями (ГИТ) и поддержка принятия управленческих решений государственных органов в сфере планирования развития сектора энергообеспечения на основе ВИЭ. Стратегия развития энергетики для любого региона Туркменистана и вовлечение ВИЭ в его энергетический баланс напрямую зависят от имеющегося потенциала, как по отдельным видам, так и по совокупности видов ВИЭ (комплексного потенциала) [4,10-12].

Изучение неравномерностей пространственного распределения потенциала ВИЭ и выявление наиболее перспективных районов под строительство энергогенерирующих объектов в совокупности с анализом инфраструктуры в данных районах эффективно при использовании специализированных технологий геоинформационного моделирования.

В настоящее время отсутствуют исследования, посвященные вопросам применения геоинформационных технологий для выполнения пространственного моделирования потенциала возобновляемых энергоресурсов. Геоинформационные системы (ГИС) в данной предметной области используются, как правило, только для визуа-

лизации точечных результатов рассчитанных величин. Это выполняется по следующей схеме: а) рассчитываются точечные значения потенциала, б) с использованием ГИС общего назначения выполняется интерполяционное сглаживание по пространству, в) в той же ГИС общего назначения результаты визуализируются в виде карты ареалов или изолиний. Применение такой схемы оправдано при максимальной плотности исходных точечных данных, которая может быть обеспечена лишь на мелких масштабах. При работе со средними и крупными масштабами необходим другой подход. Подход, в рамках которого будут учитываться различия в плотности исходных данных параметров, влияющих на значение потенциала источников возобновляемых энергоресурсов, и каждый параметр будет рассмотрены отдельно в процессе иерархического решения поставленных задач [4,10-24,34].

Исходя из выше приведенных задач, автор подготовил статью, конечно, он осознает, что при написании статьи не все задуманное удалось реализовать в полном объеме. Он прекрасно понимает, что он делает первые шаги в этом направлении, поэтому имеются недостатки как в теоретическом плане, так в практической и прикладной части. Но тем не менее вопрос использования ГИС технологий в области применения ветроэнергетики для смягчений антропогенных нагрузок на окружающую среду с помощью возобновляемых источников энергии стоит, а на вопрос изменение климата уже нужно принимать меры сейчас. Используемые материалы и методика подхода могут быть полезны для применения их не только в Туркменистане, но и в других странах мира.

Цели задачи статьи. Научный обзор для разработки информационных технологий и расчетное обеспечения геоинформационного моделирования для решения задач оценки пространственного распределения возобновляемых энергоресурсов Туркменистана и определения пространственного распределения ветроэнергетических ресурсов, потенциала на территориях страны.

Предметом исследования являются теоретические расчеты, методологические основы разработки и применения геоинформационных технологий для построения карт пространственного распределения ветроэнергоресурсов, а также определения

экологического потенциала от использования на территориях Туркменистана.

Научная новизна. Из научного обзора предложены принципы построения новой ГИС технологии для решения задач комплексной оценки возобновляемых ресурсов в частности ветроэнергоресурсов и экологического потенциала на территориях Туркменистана. Впервые с применением геоинформационных технологий построены: энергетическая и экологическая карта потенциала ветроэнергоресурсов и рассчитаны технически доступные ветроэнергоресурсы для электроснабжения отдаленных районов страны.

1. Научный обзор возможности использования геоинформационной системы в области возобновляемой энергетики

Напомню, что это такое геоинформационные системы? Геоинформационные системы (ГИС) – это интегрированные в единой информационной среде электронные пространственно-ориентированные изображения (карты, схемы, планы и т.п.) и базы данных (БД). В качестве БД могут использоваться теоретические расчеты, таблицы, паспорта, иллюстрации, расписания и т. п. Такая интеграция значительно расширяет возможности системы и позволяет упростить аналитические работы с координатно-привязанной информацией [4,10-12,23, 24,34].

ГИС характеризуются следующими положительными моментами:

- наглядность представления семантической информации из БД за счет отображения взаимного пространственного расположения данных;
- увеличение информационной емкости продукта за счет связи пространственно-ориентированных изображений с семантической информацией из БД;
- улучшение структурированности информации и, как следствие, повышение эффективности ее анализа и обработки.

Традиционный набор функций ГИС при работе с картой включает:

- показ карты в различных масштабах;
- выбор набора слоев информации для показа;
- зависимость внешнего вида объектов от их семантических характеристик;
- оперативное получение информации об объекте при выборе его курсором мыши;
- возможность распечатки любых фрагментов карты.

Перечислить все области возможного применения ГИС затруднительно. Наибольшее распространение они получили в следующих отраслях:

- землеустройство (земельные кадастры);
- муниципальное хозяйство;
- энергетика;
- транспорт и связь.

На отечественном рынке создание ГИС сдерживается дороговизной специализированных программных средств, длительными сроками разработки и высокими требованиями к "компьютерной" квалификации персонала [10-12].

Области применения и использования ГИС-технологий. Ученые подсчитали, что 85% информации, с которой сталкивается человек в своей жизни, имеет территориальную привязку. Поэтому перечислить все области применения ГИС просто невозможно. Этим системам можно найти применение практически в любой сфере трудовой деятельности человека.

ГИС эффективны во всех областях, где осуществляется учет и управление территорией и объектами на ней. Это практически все направления деятельности органов управления и администраций: земельные ресурсы и объекты недвижимости, транспорт, инженерные коммуникации, развитие бизнеса, обеспечение правопорядка и безопасности, управление ЧС, демография, экология, здравоохранение и т.д.

ГИС позволяют точнейшим образом учитывать координаты объектов и площади участков. Благодаря возможности комплексного (с учетом множества географических, социальных и других факторов) анализа информации о качестве и ценности территории и объектов на ней, эти системы позволяют наиболее объективно оценивать участки и объекты, а также могут давать точную информацию о налогооблагаемой базе.

В области транспорта ГИС давно уже показали свою логистическую эффективность благодаря возможности построения оптимальных маршрутов, как для отдельных перевозок, так и для целых транспортных систем, в масштабе отдельного города или целой страны. При этом возможность использования наиболее актуальной информации о состоянии дорожной сети и пропускной способности позволяет строить действительно оптимальные маршруты [4,10-12,23,24,34].

Учет коммунальной и промышленной инфраструктуры – задача сама по себе не простая. ГИС не только позволяет эффективно ее решать, но и также повысить отдачу этих данных в случае чрезвычайных ситуаций. Благодаря ГИС специалисты различных ведомств могут общаться на общем языке.

Интеграционные возможности ГИС истине безграничны. Эти системы позволяют вести учет численности, структуры и распределения населения и одновременно использовать эту информацию для планирования развития социальной инфраструктуры, транспортной сети, оптимального размещения объектов здравоохранения, противопожарных отрядов и сил правопорядка.

ГИС позволяют вести мониторинг экологической ситуации и учет природных ресурсов. Они не только могут дать ответ, где сейчас находятся «тонкие места», но и благодаря возможностям моделирования подсказать, куда нужно направить силы и средства, чтобы такие «тонкие места» не возникли в будущем.

С помощью геоинформационных систем определяются взаимосвязи между различными параметрами (например, почвами, климатом и урожайностью сельскохозяйственных культур), выявляются места разрывов электросетей.

Риэлторы используют ГИС для поиска, к примеру, всех домов на определенной территории, имеющих шиферные крыши, три комнаты и 10-метровые кухни, а затем выдачи более подробного описания этих строений. Запрос может быть уточнен введением дополнительных параметров, например, стоимостных. Можно получить список всех домов, находящихся на определенном расстоянии от конкретной магистрали, лесопаркового массива или места работы [34].

Компания, занимающаяся инженерными коммуникациями, может четко спланировать ремонтные или профилактические работы, начиная с получения полной информации и отображения на экране компьютера (или на бумажных копиях) соответствующих участков, скажем водопровода, и заканчивая автоматическим определением жителей, на которых эти работы повлияют, с уведомлением их о сроках предполагаемого отключения или перебоев с водоснабжением.

Для космических и аэрофотоснимков важно то, что ГИС могут выявлять участки

поверхности с заданным набором свойств, отраженных на снимках в разных участках спектра. В этом – суть дистанционного зондирования. Но на самом деле эта технология может с успехом применяться и в других областях. Например, в реставрации: снимки картины в разных областях спектра (в том числе и в невидимых).

Геоинформационная система может использоваться для осмотра как больших территорий (панорама города, штата или страны), так и ограниченного пространства, к примеру, зала казино. С помощью этого программного продукта управленческий персонал казино получает карты с цветовым кодированием, отражающим движение денег в играх, размеры ставок, взятие «банка» и другие данные из игорных автоматов.

ГИС помогает, например, в решении таких задач, как предоставление разнообразной информации по запросам органов планирования, разрешение территориальных конфликтов, выбор оптимальных (с разных точек зрения и по разным критериям) мест для размещения объектов и т. д. Требуемая для принятия решений информация может быть представлена в лаконичной картографической форме с дополнительными текстовыми пояснениями, графиками и диаграммами.

ГИС служат для графического построения карт и получения информации как об отдельных объектах, так и пространственных данных об областях, например о расположении запасов природного газа, плотности транспортных коммуникаций или распределении дохода на душу населения в государстве. Отмеченные на карте области во многих случаях гораздо нагляднее отражают требуемую информацию, чем десятки страниц отчетов с таблицами. Использование такой методики и составления ГИС карты в возобновляемой энергетике, тем более в ветроэнергетике будет очень приемлемой [4,10-12,23,24,34].

Особенности возобновляемых источников энергии. Возобновляемая энергетика характеризуется многогранностью, разнообразием характеризующих её критериев и составляющих. В перечне задач, возникающих при осуществление проектов возобновляемой энергетике (ВЭ) (помимо технологических и технических), особо выделяются проблемы оценки возможности и энергоэффективности использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ)

для энергоэкологообеспечения регионов [4-10-12].

Очевидно, что при этом с одной стороны необходимы обширные массивы информации, охватывающей как природные ресурсы территории, так и экономические, экологические характеристики региона (инфраструктура энергетики, энергетические балансы, линии электропередач, наличие отраслей промышленности; характеристики сельскохозяйственного производства, пастбищных животноводческих хозяйств и прочие другие.). С другой стороны, необходимо привлечь такие инструменты анализа, которые позволяли бы собирать, оперативно модернизировать и преобразовывать эти массивы данных, отображать их путем всестороннего анализа и получать на их основе обоснованные оценки и делать технологические расчеты.

Одновременно следует учитывать, что зачастую пользователя интересуют комплексные оценки по различным видам источников энергии. В конкретных регионах наиболее эффективным может стать либо использование гибридных энергоустановок, либо создание нескольких установок (станций) на различных типах энергии. В связи с комплексностью указанной проблемы, а также известной «региональностью» возобновляемой энергетике, становится возможным и актуальным использование инструментария геоинформационных технологий.

В настоящий момент за рубежом имеется достаточно успешный опыт использования ГИС-технологий в области возобновляемой энергетике. Энергетические компании широко используют геоинформационные системы для разработки проектов, но экологические потенциалы не достаточно изучены [4,10-12,23,24,34].

С использованием локальных ГИС технологий были проведены целый ряд исследований, использования позволила интегрировать и в комплексе проанализировать многие лимитирующие факторы проекта, такие как пути и интенсивность судоходства, территории разработки нефтяных месторождений и пути прокладки нефтепроводов, маршруты миграции птиц, ограничения со стороны военных ведомств и т.д. При оценках учитывалось влияние каждого из этих факторов, что обеспечило детальный анализ пригодности и экологической чувствительности того или иного участка в

процессе выбора мест для строительства энергетических объектов.

Рассмотренные в ходе исследования зарубежных авторов по геоинформационным ресурсам по ВЭ можно подразделить по охвату территории на: локальные, региональные, национальные, глобальные.

По направленности ГИС можно выделить однокомпонентные ГИС (рассматривается только один из ВИЭ: солнце, или ветер, или биомасса и т.п.) и многокомпонентные (включающие в себя несколько ВИЭ).

По типу информации, включаемой в основу ГИС ВИЭ, и используемой для оценки целесообразности и выгоды проектов по ВИЭ можно выделить:

- Данные для оценки ресурсов ВИЭ (комплекс метеорологических и актинометрических данных, описание гидрогеологических скважин с данными о физических и химических характеристиках геотермальных месторождений, гидрологические данные, данные по ветренности, отходам производств и жизнедеятельности человека, населению и прочие др.);

- Технические характеристики установок на ВИЭ (для расчетов предполагаемой выработки электроэнергии);

- Экономические предпосылки (цены на энергию от традиционных и нетрадиционных источников в целях сравнения и создания экобизнеса на основе квот);

- Энергетические балансы регионов (предприятия, производящие энергоустановки на ВИЭ, инвестиции в данную область, налоговые льготы на использование ВИЭ, зарплаты работников объектов на ВИЭ и т.д.);

- Социальные предпосылки (занятость населения и потенциальные рабочие места от строительства объектов на ВИЭ, соотношение новых рабочих мест и прогнозируемого объема вырабатываемой энергии, уменьшение негативных факторов, влияющих на здоровье населения за счет снижения вредных выбросов и т.д.);

- Экологические аспекты: величина снижения вредных выбросов при использовании ВИЭ, снижение загрязнения почв и воды, уровня радиации (выбросов криптона в районах, где использовались атомные электростанции и т.д.) [4,10-12].

В статье, основываясь на вышеизложенный материал, сделан упор на использования ГИС технологий в ветроэнергетике Туркменистана.

2. Обзор ветрового режима и его особенности в Туркменистане

Климатологические характеристики ветровой обстановки в Туркменистане.

Ветер на различных высотах в атмосфере Земли для каждой точки ее поверхности характеризуются его скоростью, которая, строго говоря, является случайной переменной в пространстве и времени, зависящей от многих факторов местности, сезона года и погодных условий.

Все процессы, напрямую связанные с использованием текущего значения скорости ветра, в частности, производство электроэнергии в ветроэлектрических установках, имеют сложный характер, так что их характеристики обладают статистическим разбросом и неопределенностью средних ожидаемых значений. Поэтому на современном уровне исследований задача их оценки формируется как создание вероятностного описания случайного процесса посредством разбиения всего временного процесса на отдельные временные интервалы, в пределах каждого из которых можно использовать приближение стационарности, т.е. независимости всех определяемых параметров от времени. В качестве периода стационарности могут быть приняты различные временные интервалы с соответствующей точностью описания в зависимости от реальных условий случайного процесса. В частности, в некотором приближении можно считать процесс стационарным во всем рассматриваемом промежутке времени, например, в течение года.

Климат Туркменистана резко континентальный с короткой, довольно холодной зимой и сухим жарким продолжительным летом. Осадков выпадает небольшое количество (в основном 100–200 мм), преимущественно в холодный период года. Ветровой режим формируется под влиянием циркуляционных факторов и местных физико-географических особенностей, смотрите рисунок 1 [1,2,24-28,31-33].

Для холодного периода рассматриваемой территории наиболее характерна юго-западная периферия сибирского антициклона, а также выходы с юга южно-каспийских и мургабских циклонов. В январе на побережье Каспийского моря наблюдаются преимущественно восточные ветры, вызванные в силу муссонной циркуляции смещением воздуха с холодной суши на более теплое море (повторяемость 30–40%).

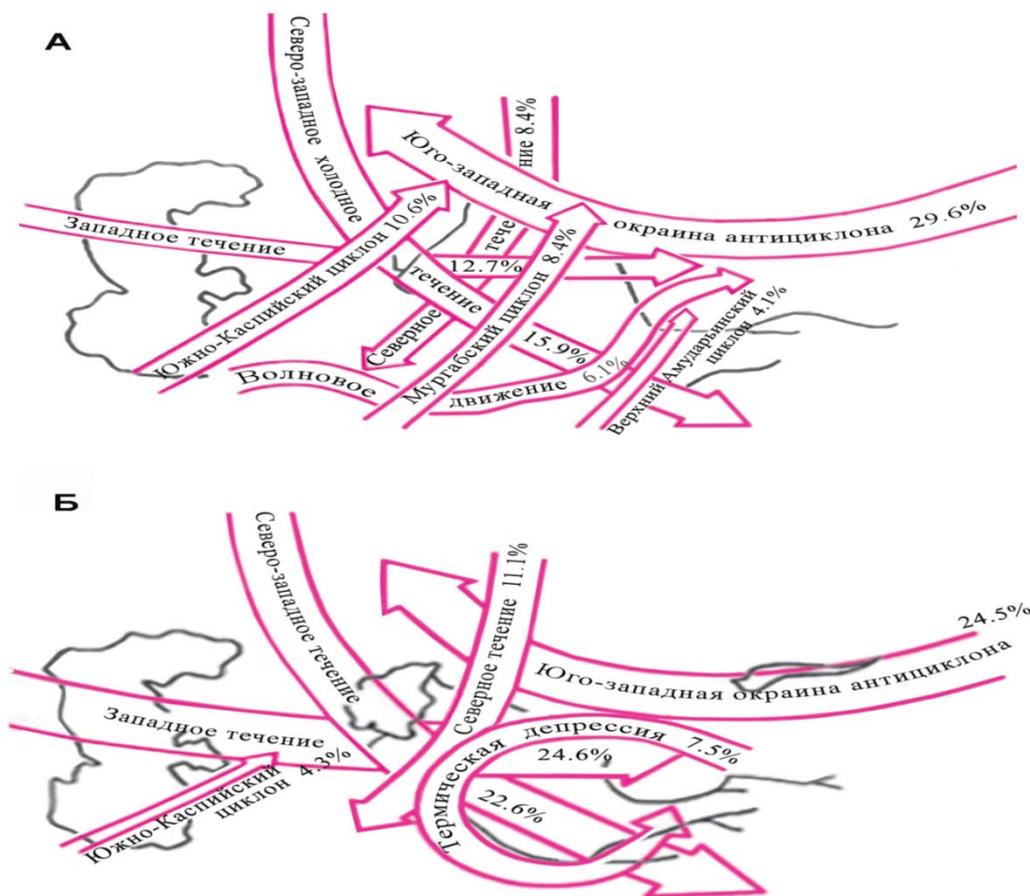


Рис. 1. Схема формирования климата Центральной Азии:
А – в холодный период; Б – в жаркий период

В Центральных Каракумах наиболее часты восточные и северо-восточные ветры (повторяемость 25–35%), обусловленные в основном юго-западной периферией сибирского антициклона, а также выходом южно-каспийских циклонов. По крайнему юго-востоку Туркменистане в это время года наблюдаются преимущественно юго-восточные и северо-западные потоки воздуха (повторяемость 15–25%). Такому распределению воздушных потоков здесь способствуют горные хребты Нуратау, Актау и Гиссарский, которые являются барьером и заставляют воздух обтекать их.

Воздушные течения и их изменение по сезонам года в Туркменистане. На формирование климата Туркменистана большое влияние оказывает циркуляция атмосферы. К ней относятся воздушные течения различных типов, их трансформация и атмосферные фронты.

Летом на территорию Туркменистана с юга проникает тропическое воздушное те-

чение, температура воздуха повышается до +40–46°C. А зимой с проникновением с севера полярного и арктического воздушных течений температура воздуха снижается до 20–30°C.

В южной части Туркменистана в течение года 15 дней удерживаются характерные для холодного периода года арктическая воздушная масса, европейская полярная воздушная масса – 92 дня, сибирская полярная воздушная масса – 20 дней, около 140 дней туранская полярная воздушная масса. А в тёплый период года здесь 25 дней, наблюдается проникающая с южных широт иранская тропическая воздушная масса, 3 дня средиземноморская тропическая воздушная масса, около 40 дней туранская тропическая воздушная масса. Связанные с ними теплые и холодные фронты в течение года наблюдаются 84 раза [1,2,24–28].

Проникновение на территорию Туркменистана различных воздушных масс в течение года, и их изменение создают своео-

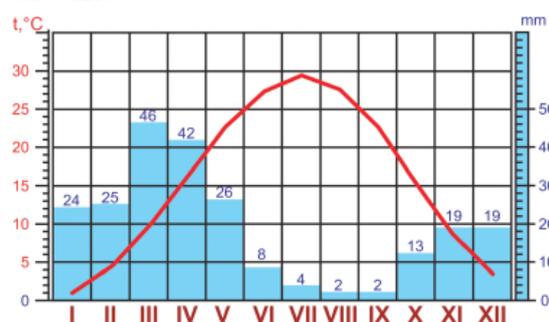
бразные погодные условия, то есть синоптическую ситуацию.

На погодные условия Туркменистана также оказывает действие обширное волнообразное воздушное течение, медленнодвигающийся циклон на севере Центральной Азии.

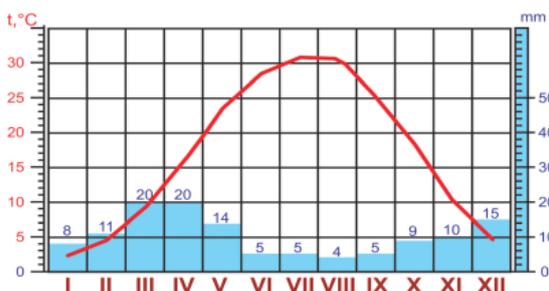
Южный Каспийский циклон. Краткую характеристику его свойств мы даем на примере Туркменистана. В Туркменистан этот циклон проникает с юго-запада. При этом почти вся территория страны оказывается под влиянием континентальной или морской тропической воздушной массы. В это время средняя суточная температура воздуха повышается зимой до 5-10°C, весной и осенью до 15-20°C. Осадки больше выпадают на наветренной стороне горных хребтов, а на подветренной стороне господствуют сухие и теплые ветра.

Южный Мургабский циклон. Он формируется в междуречье Теджена и Мургаба. Благодаря этому циклону на территорию Туркменистана с севера проникают континентальные и морские полярные воздушные массы. В это время температура воздуха находится зимой в пределах 0-5°C, весной – 10-20°C, осенью – 10-15°C. Большее количество осадков выпадает в нижнем течении р. Мургаб [2].

Верхний Амударьинский циклон проникает на территорию Туркменистана с юга и отличается от других очень редкой повторяемостью.

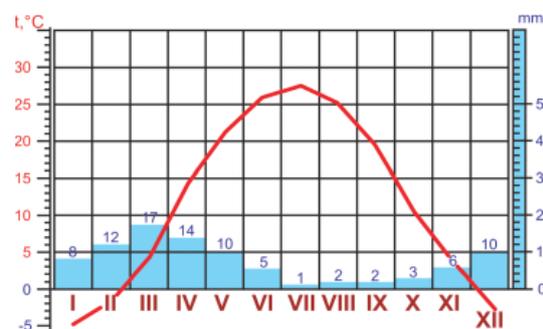


Средняя месячная температура воздуха и количество осадков в Ашхабаде

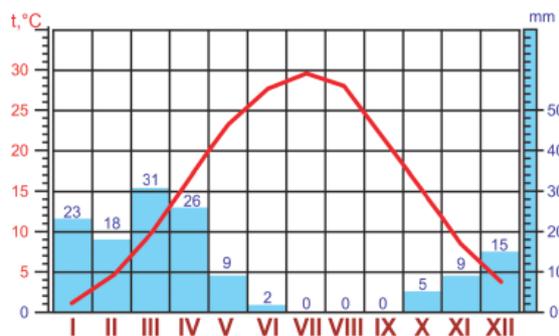


Средняя месячная температура воздуха и количество осадков в Балканабаде

Этот циклон отличается теплой температурой воздуха (5-10°C) зимой и высокой температурой (35-40°C) в летнее время. При такой синоптической ситуации атмосферные осадки выпадают очень мало.

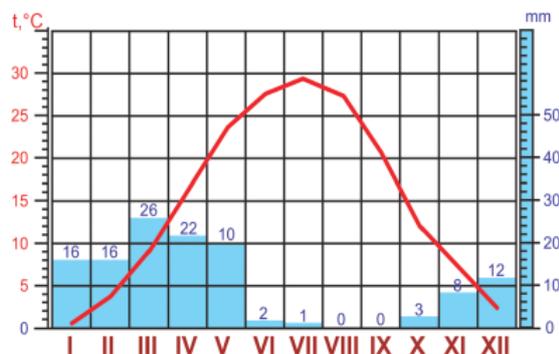


Средняя месячная температура воздуха и количество осадков в Дашогузе

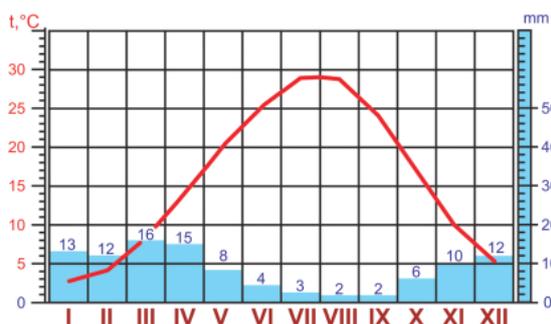


Средняя месячная температура воздуха и количество осадков в Мары

Обширное теплое воздушное течение формируется во всех сезонах кроме летнего, его повторяемость по отношению к другим близка к 1%. В период проникновения этого воздушного течения на территорию нашей страны устанавливается теплая и сухая погода.



Средняя месячная температура и количество осадков в г. Туркменабаде.



Средняя месячная температура воздуха и количество осадков в Туркменбаши

Температура воздуха сохраняется в пределах 10-15°C зимой, 25-30°C – весной и 20-25°C – осенью [2-9,24-33].

Воздушное течение, идущее с северо-запада на нашу территорию, проникает через Западный Казахстан и Устюрт. В связи с поступлением сюда влажных полярных и арктических воздушных масс зимой температура воздуха снижается до минус 10-15°C. Повышается скорость ветра и погода становится пасмурной. В этой связи весной и зимой наступают ранние и поздние заморозки. Это воздушное течение дает около 18 процентов атмосферных осадков, выпадающих в течение года.

Северное холодное воздушное течение проникает в отдельные районы Туркменистана через Уральские горы, Западной Сибирской равнины и Казахстан. Под влиянием континентальных арктических и континентальных полярных воздушных масс возрастает число морозных дней и дней с сухой погодой. Такая синоптическая обстановка способствует выпадению снега и в некоторых случаях снижению температуры воздуха до минус 20-30° С.

Волнообразное движение возникает в результате столкновения холодных и теплых воздушных течений малого объема. В большинстве случаев этот процесс часто повторяется в горных регионах. Волнообразное движение в Копетдаге даёт 15 процентов годового количества осадков.

Медленно идущий циклон на севере Центральной Азии действует во все сезоны года. В этих условиях на территорию Туркменистана проникает полярное воздушное течение, способствуя проявлению морозных дней зимой. В остальных сезонах года в пустыне Каракумы сохраняется повышенная температура воздуха.

Сибирский антициклон в Туркменистане приносит зимой ясную, морозную пого-

ду, а летом – сухую, жаркую погоду. В период проникновения этого антициклона количество атмосферных осадков резко уменьшается, а и преобладающие ветры дуют с восточной и юго-восточной сторон.

Западное воздушное течение на территорию Туркменистана проникает в виде влажных атлантических воздушных масс. Зимой, в результате влияния этого течения погода становится мягкой, летом же температура воздуха сохраняется в пределах 25-30°C. В это время выпадает 31% атмосферных осадков.

Термическая депрессия формируется на территории Северной Индии, Афганистана и Ирана. Она появляется летом и отличается засушливостью, высокой температурой воздуха (40-45°C) и пасмурной погодой. Дуют также горячие суховеи.

В результате проникновения в Туркменистан воздушных масс различных видов, формируются синоптические процессы со своеобразной температурой воздуха и степенью (уровнем) увлажнения. В Копетдаге 55,3% годового количества выпадающих атмосферных осадков дают холодные (северо-западные, северные, западные) воздушные течения, 17,1 процента – южные циклоны (южные Каспийский и Мургабский, верхний Амударьинский циклоны) 14,8% – волнообразное движение и 12,7% – другие синоптические процессы [1,2,24,31-33].

Континентальность – одна из особенностей климата Туркменистана. Степень континентальности климата определяется в сравнении с температурой города Верхоянска в Якутии.

В Туркменистане степень континентальности климата различна в разных районах. Она равна 46 процентам в г. Эсенгулы, 48% в г. Туркменбаши, 57% в г. Ашхабаде, 61% в пос. Репетек, 62% в г. Дашогузе и 39% в горной зоне (Хайрабад, 2028 м над уровнем моря). В то же время степень континентальности в г. Верхоянске равна 100%.

Как видно из вышеприведенных данных, значительное потепление климата заметно ощущается на морском побережье и в горной местности, а возрастание континентальности в пустынных местностях, то есть летом формируется очень высокая, а зимой весьма низкая температура воздуха.

Повторяемость направление ветров в Туркменистане. Горы Копет-Дага также являются как бы барьером, изменяющим направление ветров (рис. 2).

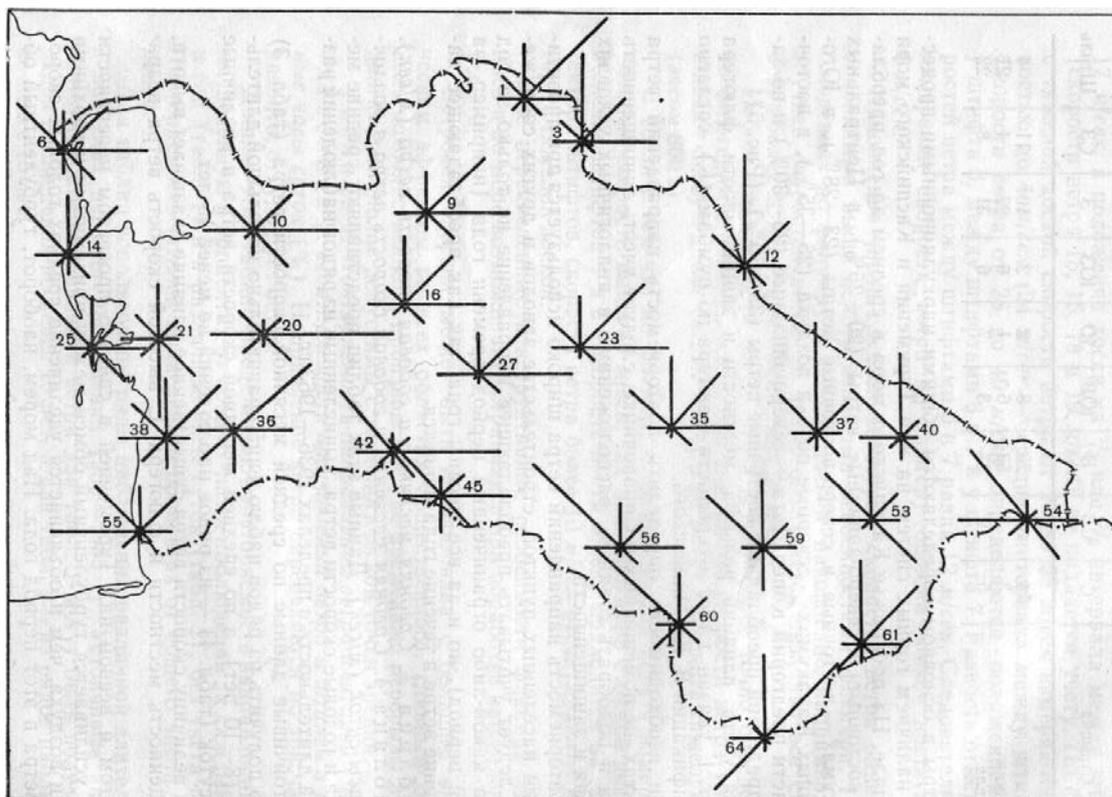


Рис. 2. Повторяемость направление ветров в Туркменистане

Так северо-восточные ветры над Центральными Каракумами, приближаясь к горам Копет-Дага меняют направление на восточное, а северные и западные переходят в северо-западные. Таким образом, потоки, обтекая хребет, приобретают направление, параллельное хребту. Число восточных ветров по западной части предгорий Копет-Дага возрастает за счет того, что при общих северных потоках над Центральными Каракумами обтекание хребта происходит здесь с западной стороны. При этом воздух устремляется в довольно узкий проход между хребтами Большим Балханом и Малым Балханом (ст. Айдин) и обуславливает здесь усиление северо-восточных, восточных ветров часто до штормовых. Воздух, поступающий к предгорьям из восточной половины Центральных Каракумов, принимает здесь северо-западное направление смещения (параллельно хребту) и обтекает хребет с востока.

В теплую часть года Туркменистан находится преимущественно под воздействием термической депрессии с центром над Таджикистаном. В Центральных Каракумах наблюдаются преимущественно северные и северо-восточные ветры (повторяе-

мость 25–35%). В Юго-восточных Каракумах северо-восточные потоки, обтекая горы Ак-Тау и Гиссарский хребет, приобретают северное и северо-западное направление (повторяемость 50–60%). Северо-восточные и северные потоки воздуха в Центральных Каракумах, обтекая предгорья Копет-Дага, деформируются на участке Бахарлы–Серахс в северо-западные, а на участке Сердар–Айдин в восточные потоки. На побережье Каспийского моря летом преобладают северные, северо-западные ветры (повторяемость 30–40%), дующие с относительно холодного моря на прогретую сушу (муссонный тип циркуляции) (рис. 1,2). Этот район характеризуется суточной сменой ветров по типу бризовой циркуляции: днем дует прохладный ветер с моря, а ночью – с суши на море (рис. 3, табл. 1) [2].

В горах Копет-Дага, Парапамиза развита горно-долинная циркуляция: днем ветер дует с долины на гору, а ночью – с гор в долину (таблица 2).

По предгорьям Копет-Дага преимущественно в холодный период года наблюдаются теплые ветры с гор – фёны, связанные с выходом циклонов с юга.

Таблица 1

Суточная характеристика смены ветров по времени

Станция	Часы	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Туркменбаши, пригород	1	54	10	13	4	1	2	3	13	23
	7	31	15	20	14	4	2	3	11	10
	13	10	2	1	11	21	22	13	20	1
	19	39	5	1	0	1	3	5	46	1
Куули-Маяк	1	39	21	7	1	0.3	3	6	23	11
	7	26	22	11	7	3	4	6	21	10
	13	9	3	1	1	2	17	26	41	0.4
	19	37	5	0	0	0	2	9	47	3

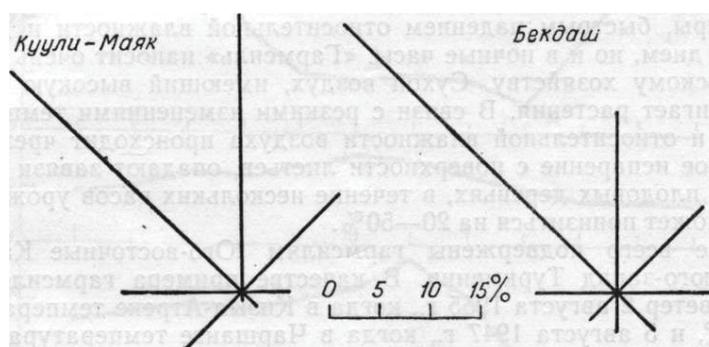


Рис. 3. Розы ветров по побережью Каспийского моря. Июль

Таблица 2

Повторяемость направлений ветра и штилей в различные часы суток в июле в горах, %

Станция	Часы	С	СВ	В	ЮВ	ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Хейрабад	1	10	7	9	9	23	29	8	5	16
	7	15	20	36	12	7	3	3	4	12
	13	12	37	35	1	0	1	1	3	0
	19	18	29	45	3	1	0	1	3	3

В качестве примера фёна можно привести ветер, наблюдавшийся 2 января 1942 г., когда на Туркменистан сместился южно-каспийский циклон. В теплый сектор циклона поступал континентальный тропический воздух из Ирана. Теплый фронт через Ашха-

бад прошел около 19 час., когда температура воздуха была 4.4°; к двум часам ночи скорости ветер достигает к полудню. Ниже приведены средние значения суточных колебаний скорости ветра, полученные из ежедневных наблюдений в Ашхабаде, пригороде:

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Суточная амплитуда (м/сек)	1.7	2.5	2.7	2.1	2.7	2.3	2.5	2.6	2.4	2.4	2.1	1.5	2.0

Для решения многих практических задач, в особенности при учете ветроэнергетических ресурсов, необходимы данные о вероятности различных скоростей ветра и о скоростях ветра различных градаций по румбам. Вероятности различных скоростей ветра, приведенные в таблицах 5 и 6, указывают на преобладание по всей территории Туркмении слабых и умеренных ветров от 0 до 5 м/сек, повторяемость их 75–85% всех возможных скоростей. Лишь на побережье Каспийского моря в дневное время, а летом днем и вечером и на северных склонах Копет-Дага на высотах более 1500 м зимой в ночное время преобладают скорости около 6–9 м/сек (ст. Кара-Богаз-Гол).

Вероятность скоростей ветра более 10 м/сек по побережью Каспийского моря 20–25% зимой и 8–13% летом. В горах зимой ветры более 10 м/сек так же часты, как и на побережье Каспия, но летом их вероятность уменьшается до 1–2%.

Скорость ветра более 20 м/сек отмечена в единичных случаях. Однако следует иметь в виду, что за рассмотренный период наблюдения велись в основном по флюгеру с легкой доской, когда скорости ветра более 20 м/сек могли быть отмечены как 20 м/сек. Кроме того, наблюдения проводились только четыре раза в сутки, поэтому отсутствуют случаи сильного ветра, который мог быть между сроками наблюдений. При анализе больших скоростей ветра следует учитывать также и тот факт, что при наблюде-

ниях по флюгеру скорость ветра отмечается средняя за 2 мин., отдельные порывы в обработку не вошли [2,24].

Число дней с ветром более 15 м/сек в Центральных Каракумах составляет в среднем 5–10, в Юго-восточных Каракумах – 3–8, увеличиваясь на побережье Каспийского моря до 40 в году. Наибольшее число дней с ветром более 15 м/сек наблюдается в долине Амударьи, в районе ст. Чаршанга и достигает 54, а в отдельные годы 85 (1940 г.). В годовом ходе дни с сильным ветром преобладают в зимнее и особенно в весеннее время – в период интенсивной циклонической деятельности над рассматриваемой территорией. Исключением являются верховья рек Теджена, Мургаба и его притока Кушки, где дни с сильным ветром чаще всего наблюдаются летом. Вероятность ветра различной скорости по направлению в общих чертах подтверждает описанные выше закономерности. При всех направлениях ветра чаще всего наблюдаются небольшие скорости ветра, в пределах 2–5 м/сек.

С целью учета местоположения станции и степени защищенности флюгера использована классификация В.Ю. Милевского. Чем больше цифра класса открытости, тем меньше защищенность флюгера и тем больше регистрируемая на данной станции скорость ветра. Согласно этой классификации, для каждой станции определена открытость флюгера (К) по восьми румбам, представленная в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициенты K_o , относительная единица и среднегодовые скорости (V_n), м/с, по классификации Милевского

Степень открытости флюгера	Форма рельефа					
	А		б		в	
	Выпуклая		плоская		вогнутая	
	K_o	$\langle V_n \rangle$	K_o	$\langle V_n \rangle$	K_o	$\langle V_n \rangle$
Открытое побережье около водных поверхностей:						
- океана или открытого (внешнего) моря	12	7.0	11	5.5	10	4.3
- закрытого (внутреннего) моря	11	5.2	10	4.3	9	4.9
- залива или большого озера	10	4.6	9	4.7	8	3.1
- большой реки	9	3.6	8	3.2	7	2.7
Вдали от водных поверхностей. Флюгер выше элементов защищенности:						
- нет никаких элементов защищенности	8	4.1	7	3.6	6	2.9
- отдельные элементы защищенности	7	3.6	6	3.4	5	2.5
- сплошные элементы защищенности	6	3.3	5	2.9	4	2.1
Флюгер ниже элементов защищенности:						
- сплошные элементы защищенности	4	2.7	4	2.5	4	2.2

Примечание: элементами защищенности могут являться холмы, строения, деревья, причем они принимаются во внимание, если расстояние от них до флюгера меньше 20-кратной их высоты.

Кроме открытости флюгера по румбам, определен класс открытости станции в целом с учетом преобладающих форм рельефа, оказывающих влияние на ветровой поток.

Сопоставление класса открытости станции и средней скорости ветра подтверждает решающее влияние ландшафтных условий на показания флюгера, о чем подробно приведены в таблицах 3 и 4 [18-24].

На станциях, расположенных на открытых возвышенностях, на водоразделах, в верхних частях склонов скорость ветра заметно увеличивается, достигая в среднем 4–6 м/сек за год. В местах с полузащищенной установкой флюгера, находящихся преимущественно на ровном месте, средние годовые скорости ветра несколько меньше – в пределах 3–4 м/сек (ст. Шахсенем, Екедже). В пунктах, расположенных в долинах, окруженных горами, в нижних частях склонов среди построек или древесных насаждений, в условиях сильной защищенности флюгера, средние годовые скорости ветра составляют 1.6–2.1 м/сек (Фирюза, Бахарден, Кара-Кала) [2-6, 18-22, 28-33].

Ветроэнергетический кадастр. Для систематизации характеристик ветровой обстановки в конкретном регионе с целью ее эффективного энергетического использования, как правило, разрабатывается ветроэнергетический кадастр, представляющий собой совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра, позволяющих определить его энергетическую ценность, а также целесообразные параметры и режимы работы ветроэнергетических установок.

Основными характеристиками ветроэнергетического кадастра являются:

- среднегодовая скорость ветра, годовой и суточный ход ветра;
- повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей;
- максимальная скорость ветра;
- распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности;
- удельная мощность и удельная энергия ветра;
- ветроэнергетические ресурсы региона.

Начиная с 50-х гг. прошлого столетия в Туркменистане, были развернуты широкие работы по созданию ветроэнергетических кадастров [18-22] хотя при этом северные и восточные районы страны фактически не рассматривались. Основным источником

исходных данных для разработки ветроэнергетического кадастра является по единой методике с фиксированной классификацией мест наблюдения по степени их открытости и охватывают периоды в десятки лет.

За последние 20-30 лет произошло качественное изменение уровня этих наблюдений. С помощью изменений на высотных метеорологических и телевизионных мачтах полученные сведения о вертикальном профиле скоростей в приземном слое высотой до 500 м. Увеличивалась частота регулярного получения информации о скорости и направлении ветра на опорной сети метеорологических станций (с 4 до 8 раз в сутки), а некоторыми метеостанциями и отдельными заинтересованными организациями ведутся непрерывные наблюдения в автоматическом режиме. Эти измерения по длительности, как правило, уступают многолетним наблюдениям гидрометеослужбы, но они особенно важны при измерении быстропеременных процессов, включая порывы ветра и его максимальные пульсации, а также при оценке рабочих периодов и периодов простоя ветроустановок [5, 6, 18-28].

Средние скорости ветра. Основной характер ветра, определяющий его интенсивность и эффективность использования ветровой энергии, является его средняя скорость за определенный период времени, например, за сутки, месяц, год или несколько лет. Средняя скорость ветра представляется как среднеарифметическое значение, полученное из ряда замеров скорости, сделанных через равные интервалы времени в течение заданного периода. Если обозначить как V_{ijkl} случайное значение скорости, полученное в момент времени, определяющийся следующим набором параметров: i -порядковый номер года, j -порядковый номер месяца, k -порядковый номер суток, l -порядковый номер измерения в сутках, то, например, усреднение скорости по всем значениям l ($l = 1, 2, \dots, L$) дает среднесуточное значение скорости в i -м году, j -м месяце, k -х сутках:

$$\langle V \rangle_{ijk} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L V_{ijkl} \quad (1).$$

По этой формуле можно производить усреднение скорости по любому другому параметру i, j, k , или сразу по любой их комбинации и получать соответствующие средние скорости, например, среднемесячные,

среднегодовые, среднемноголетние и определенный месяц и т.д. В дальнейшем, если нет необходимости конкретизировать временной момент измерения, будем обозначать полное число всех учитываемых измерений как n , порядковый номер измерения как i ($i = 1, 2, \dots, n$) и соответствующее случайное значение скорости как v_i , так что общая формула для определения всех искомым средних значений скорости приобретает вид

$$\langle V \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (2).$$

Для получения достоверных данных о средних скоростях ветра, определяющих его энергетическую способность, возникает вопрос о репрезентативности, представительности выборки случайных значений скорости, т. е. О необходимом объеме и длительности измерений. В общем случае с увеличением объема получаемых данных точность и достоверность вычисляемых средних значений повышаются. Для численной оценки используется коэффициент вариации средних скоростей, которых определяется выражением

$$C_v = \frac{S_v}{\langle v \rangle} \quad (3),$$

где S_v – среднее квадратичное отклонение (разброс) соответствующей средней скорости. Коэффициент вариации средних скоростей обычно падает при увеличении периода усреднения, т. е., например, среднемноголетняя скорость имеет меньший разброс, чем многолетняя среднемесячная скорость.

При приведенных в данных по хронологическим изменениям среднегодовых скоростей ветра на метеостанция побережья Каспийского моря следует, что для определения средней многолетней скорости ветра и выявления вариаций среднегодовой скорости от года к году достаточно ограничиться рассмотрением 10-летних объемов выработки наблюдений. Если использование 5-летних объемов выработки давало отклонение в средней скорости 5-7%, то рост длительности выработки с 10 до 15-20 лет существенного влияния не оказывает и способствует уточнению не более чем на 2-3%. Значение коэффициента вариации длительностью 8-12 лет. В [18-20] представлены также результаты обработки 10-летних объемов наблюдений по 47 метеостанция Тур-

кменистана, из которых следует, что среднеквадратичное отклонение среднегодовой скорости повсеместно примерно одинаково и составляет в большинстве случаев 0.2-0.5 м/с. Коэффициент вариации среднегодовых скоростей ветра в прибрежных районах значительно ниже, чем в районах, удаленных от береговой линии. На открытом побережье Каспийского моря он составляет в среднем 5.2%, в глубине заливов Каспийского моря и на побережье Каспийского моря – в среднем 6.3%, а внутриматериковых пунктах он увеличивается до 7.7%.

Технология создания ГИС на базе графической среды. В области создания ГИС от ввода картографической информации в компьютер до разработки сопутствующих баз данных и формирования информационной среды.

ГИС базируются на гибридной растрово-векторной технологии, совмещающей растровую топооснову и векторные слои, что позволяет в каждом конкретном случае найти оптимальное соотношение между стоимостью и сроками создания ГИС с одной стороны, и объемом решаемых задач с другой. Окончательная сборка растрово-векторных составляющих производится в графической среде.

ГИС технология, обладающая высокой степенью открытости, позволяет применять для ввода графической информации различные внешние графические редакторы (FreeHand, CorelDraw, AutoCAD и др.) и предоставляет на любом этапе (в том числе и после сдачи в эксплуатацию) возможность расширения набора аналитических функций ГИС за счет усиления ее векторной составляющей.

Начав с векторизации ограниченного числа первоочередных слоев, заказчик в кратчайшие сроки и с минимальными затратами получает работающую ГИС. Далее, по мере появления новых задач, можно переводить в векторное представление дополнительные слои из растровой топоосновы или наносить новые слои, отсутствующие в ней, а также подключать к формируемой информационной системе новые задачи и базы данных [4-12, 23-25, 35].

3. Основные этапы создания ГИС карты ветропотенциала Туркменистана

Математические операции и расчеты ветропотенциала для создания ГИС технологической карты.

Зависимость средней скорости ветра от высоты. При установившемся ветром потоке скорость ветра возрастает с увеличением высоты над поверхностью Земли. Обычно регистрирующие приборы на метеостанциях располагаются на высотах 9-20 м. В то же время оси современных ветроэнергетических установок могут находиться на различных высотах в приземном слое толщиной ~100 м; имеются даже предложения о размещении ветроэлектрических установок на аэростатах. Поэтому для оценки эффективности использования ветрового потока необходимо установление вертикального профиля скоростей ветра.

Теоретическое исследование обтекания плоской ровной поверхности стационарным потоком газа дает следующую зависимость скорости в потоке на высоте h от поверхности [18]:

$$v(h) = a \cdot (\ln h - \ln h_0) \quad (4),$$

где a – постоянная, определяющая общую интенсивность потока; h_0 – величина, определяющая масштаб шероховатости поверхности, причем эта формула пригодна при условии $h \gg h_0$. С другой стороны, стремление $v(h)$ к бесконечности при $h \rightarrow \infty$ есть следствие использование использованного в теории приближения бесконечного размера обтекаемой поверхности.

Таким образом, получаем соотношение для скоростей на высотах h_1 и h_2 , из которого, в частности, следует, что при уменьшении шероховатости поверхности проолифь скоростей становится менее резким.

$$v(h_1) = v(h_2) \frac{(\ln h_1 - \ln h_0)}{(\ln h_2 - \ln h_0)} \quad (5).$$

Т а б л и ц а 4

Коэффициент возрастания средней скорости ветра с высотой* $v(h_2)/v(h_1)$ и показатель степени m

Сезон	Высота, м						m
	10	20	40	60	80	100	
Зима	1	1.12	1.26	1.35	1.43	1.50	0.17
Весна	1	1.17	1.36	1.50	1.59	1.66	0.22
Лето	1	1.18	1.40	1.55	1.67	1.76	0.24
Осень	1	1.12	1.26	1.35	1.43	1.50	0.17
Год	1	1.15	1.32	1.44	1.53	1.60	0.20

*Для побережий озер и морей, а также верхних частей склонов десятичные знаки коэффициента следует уменьшить в 1.5 раза.

Другое, часто используемое, выражение для вертикального профиля скоростей представляется эмпирической зависимостью степенного вида [18-22,29]:

$$v(h_1) = v(h_2) \cdot \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^m \quad (6).$$

В отечественных исследованиях 50–60-х гг. при расчете вертикального профиля среднегодовых значений скоростей ($v(h_1)$ и ($v(h_2)$)) показатель степени m принимался равным 0.2, а при составлении атласа ветровой энергии США принималось значение $m = 1/7$.

Последующие исследования выявили наличие зависимости показателя степени для средних скорости от времени года. В таблице 4 приведены отношения средних скоростей на различных высотах к средней скорости на высоте 10 м и значения показателя m для различных сезонов года, справедливые для условий равнинной местности: степь, горы, пустыня [18-24,29].

Наличие теоретической зависимости (4) с вполне физически ясным параметром масштаба шероховатости земной поверхности h_0 позволяет объяснить показанное в таблице 4 сезонное изменение эмпирического параметра m , а также его уменьшение для побережий озер и морей.

Действительно, зимой и осенью из-за наличия снежного покрова и увеличения влажности почвы от дождей размер шероховатости земной поверхности меньше, чем весной и летом, когда почва просыхает и на ней появляются неровности и растительный покров, задерживающий ветер. Поскольку с уменьшением размера шероховатости уменьшается крутизна вертикального профиля скоростей, то это соответствует уменьшению параметра m . Аналогично для побережий, из-за гладкости поверхности озер и морей, масштаб шероховатости значительно меньше, чем для удаленных от них участков земли, и соответственно меньше значение m . Влияние шероховатости земной поверхности на вертикальный профиль скоростей детально изучалось в зарубежных работах, в том числе и с использованием выражения (4), причем созданы довольно полные таблицы профилей в зависимости от характеристик поверхности и ее сопротивления ветру. В отечественной литературе связь параметров ветра с шероховатостью земной поверхности исследовалась мало [24-30].

В то же время было выяснено, что показатель m является не только функцией времени, географических и климатических условий местности, но и довольно резкой функцией самой скорости. В таблице 5 представлена среднестатистическая зависимость показателя m от скорости ветра v , м/с, рекомендуемая авторами для использования в расчетах.

Таблица 5

Среднестатистическая зависимость показателя m от скорости ветра v , м/с

v , м/с	1.5	3.5	5.5	7.5	9.5	11.5	13.5
	15.5	17.5	20.5	24.5	28.5	34.5	>40
$m(v)$	0.42	0.31	0.25	0.21	0.18	0.16	0.15
	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12

Таким образом, выражение (5), будучи простым, по формуле, в действительности представляет весьма сложную и неявную зависимость скорости от высоты. Кроме того, для неоднородного рельефа показатель m оказывается различным для различных направлений (румбов), так что проведения достаточно точных расчетов требуется определение эмпирических значений m как комбинаций значений по отдельным румбам.

Временная зависимость средней скорости ветра. Помимо представленного выше закономерного изменения параметра случайной величины – средней скорости ветра в зависимости от открытости местности и высоты над поверхностью Земли существует также закономерное временное изменение средней скорости ветра, обусловленное определенным и довольно устойчивым характером изменения погодных и климатических условий в течение года. Примером является отмеченное в предыдущем разделе сезонное изменение показателя m вертикального профиля скорости ветра.

Важными составляющими ветроэнергетического кадастра являются нижеследующие временные характеристики скорости ветра [5,18,30].

Суточный ход средней скорости ветра – это изменение скорости ветра в течение суток, усредненное по всем суткам в определенном месяце и по многолетним наблюдениям. Согласно представленному выше определению, среднегодовое значение скорости ветра в один и тот же l -й момент (час) измерения для всех суток в j -м месяце $\langle v \rangle_{jl}$ равно

$$\langle v \rangle_j = \frac{1}{I \cdot K} \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K V_{ijkl} \quad (7),$$

где K – число дней в месяце, I – число лет наблюдений. Таким образом суточный ход средней скорости ветра представляет зависимость $\langle v \rangle_{jl}$ от момента измерения l , часа, для определенного j -го месяца.

Годовой ход средней скорости ветра – это изменение в течение года многолетней среднемесячной скорости ветра, которая в соответствии с определением (1) для j -го месяца равна $\langle v \rangle_j$:

$$\langle v \rangle_j = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \langle v \rangle_{ij} \quad (8),$$

где $\langle v \rangle_{ij}$ – средняя скорость в месяце j года i :

$$\langle v \rangle_j = \frac{1}{K \cdot L} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \langle v \rangle_{ijkl} \quad (9),$$

где L – число измерений в течение дня. Таким образом, годовой ход средней скорости ветра представляет зависимость $\langle v \rangle_j$ от порядкового номера j месяца в году. Рассмотренные характеристики временной зависимости средней скорости ветра имеют важное значение для оценки не только ветроэнергетического потенциала определенной местности, но эффективности его использования за счет учета степени согласованности графика поступления ветровой энергии с графиком энергетической нагрузки потребителей [5,18-29].

В частности, для северных районов побережья Каспийского моря как суточный, так и годовой ход среднемесячной скорости ветра на высоте 10-11 м, представленные на рисунках 4 и 5, оказываются весьма благоприятными для использования ветроэнергетических установок как автономном режиме, так и в сочетании с гидроэлектрическими установками. Максимум среднемесячных скоростей приходится на холодное время года и совпадает с сезонным пиком потребления тепловой и электрической энергии; одновременно он совпадает с минимумом годового стока рек, т. е. Позволяет компенсировать сезонный дефицит гидроэнергии. Суточное изменение средней скорости значительно проявляется в летнее время, причем скорости в дневные часы в среднем 1-2 м/с выше, чем ночью, что является благоприятным для эффективного использования ветра, поскольку максимум потребления энергии приходится также на дневное время.

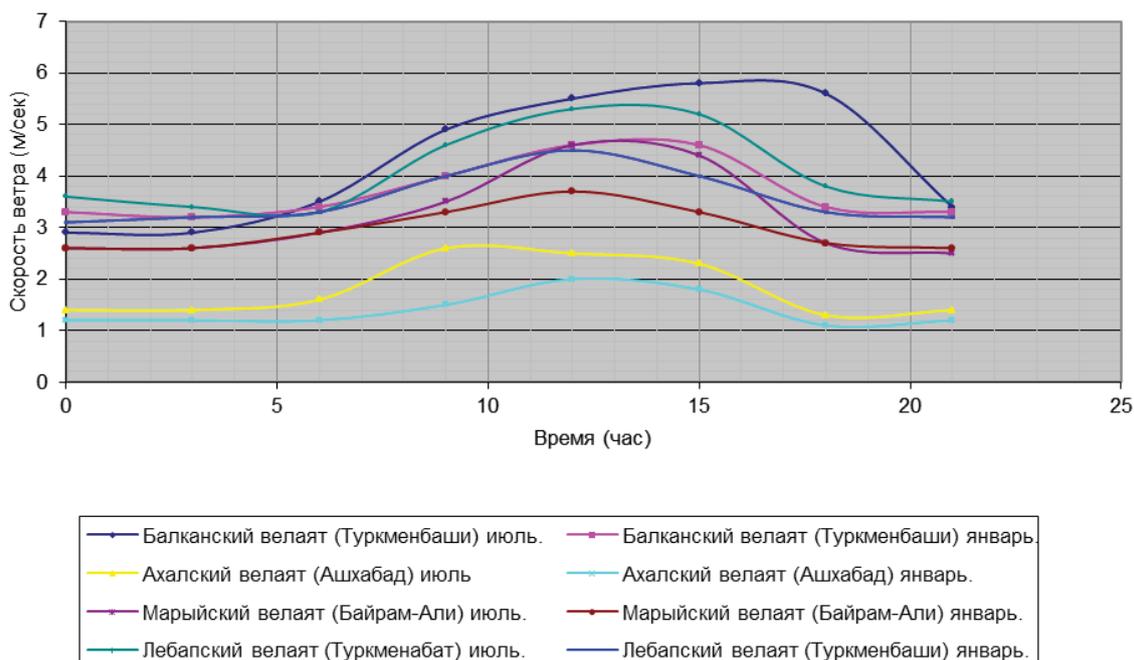


Рис. 4. Средний суточный ход скорости ветра по областям Туркменистана

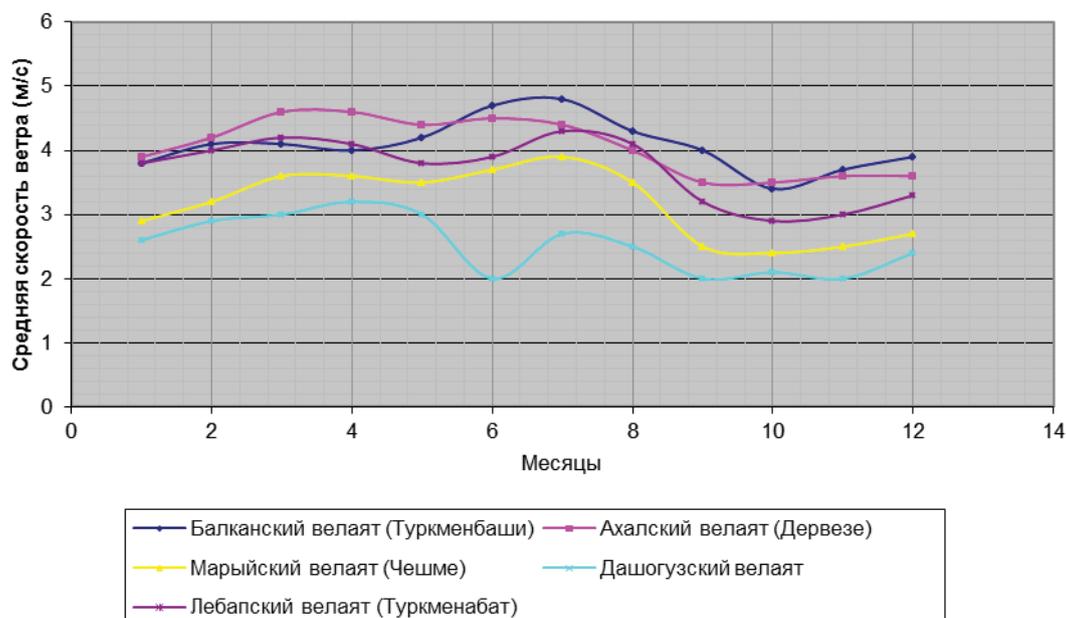


Рис. 5. Годовой ход среднемесячных скоростей ветра и уравнения регрессии по областям Туркменистана:
 1 – Балканский (Туркменбаши) $y = -0,024x + 4,242, R^2 = 0,050$;
 2 – Ахалский (Дарваза) $y = -0,081x + 4,593, R^2 = 0,446$;
 3 – Лебапский (Туркменабат) $y = -0,093x + 4,325, R^2 = 0,479$;
 4 – Марыйский (Чешме) $y = -0,077x + 3,671, R^2 = 0,270$;
 5 – Дашогузский (Дашогуз) $y = -0,081x + 3,065, R^2 = 0,454$.

Для южных регионов Туркменистана профиль годового хода средней скорости ветра [18] качественно соответствует годовому ходу средней скорости в северных регионах. В таблице 6 приведены данные

по годовому ходу среднемесячных значений скорости ветра на высоте 10 м для побережья Каспийского моря с соответствующими среднегодовыми значениями 3.2 и 4.5 м/с.

Таблица 6

Годовой ход среднемесячной скорости ветра на высоте 10 м для Хазара $\langle v \rangle_j$, м/с

	Месяц, j											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\langle v_r \rangle$	3.9	4.0	4.1	2.7	2.4	2.5	2.9	3.0	3.4	3.5	3.2	3.9
$\langle v_{rc} \rangle$	5.5	5.5	5.8	4.3	3.7	3.5	3.5	3.9	4.4	4.8	4.9	5.5

Характеристики распределения скорости ветра. Существует два способа описание характеристик распределения случайной величины, которой в данном случае является скорость ветра на некоторой высоте.

Один их основан на разбиении всей области случайных значений скорости на интервалы Δv_i вблизи значения v_i ($i = 1, 2, \dots, n$), которые обычно соответствуют середине соответствующего интервала, непосредственном экспериментальном получении выработки случайных значений скорости и определении повторяемости скорости ветра, т. е. Относительной доли t_i попадания скорости в каждый интервал Δv_i ; она также называется дифференциальной вероятностью появления скорости t_i при этом соблюдается условие (нормировки)

$$\sum_{i=1}^n t_i = 1 \quad (10).$$

Повторяемость скорости ветра является одной из важнейших характеристик кадастра. Она показывает, какую часть времени в течение рассматриваемого периода ветер имел определенную скорость. Тем самым устанавливается энергетическая ценность ветра, оценивается целесообразность и эффективность его использования.

Оценка средней скорости ветра (v) дается выражением:

$$\langle v \rangle = \sum_{i=1}^n v_i \times t_i \quad (11).$$

Аналогично вычисляется среднее значение любой функции скорости.

Интегральная вероятность F_i определяется как вероятность того, что скорость ветра попадает в i -й или более высокий интервал скоростей:

$$F_i = \sum_{j=i}^n t_j = 1 - \sum_{j=1}^{i-1} t_j \quad (12).$$

Условие нормировки (1) при этом выразится как $F_1 = 1$.

Другой способ описания характеристик скоростей ветра основан на поиске детерминированных модельных функций $F(v) = f(v)$, описывающих распределение случайных значений скорости ветра v в соответствии со следующим связанными определениями:

$F(v)$ – интегральная функция распределения, равная вероятности того, что скорость ветра больше значения v ;

$f(v) = -dF(v)/dv$ – дифференциальная функция распределения, равная плотности вероятности, т. е. Отношению вероятности нахождения скорости в интервале между v и $v + dv$ к ширине интервала dv .

Из этих определений следует неравенство $f(v) \geq 0$ и условия нормировки функций распределения вероятностей:

$$\begin{aligned} F(0) &= 1; \\ F(\infty) &= 0; \\ \int_0^{\infty} f(v) dv &= F(0) - F(\infty) = 1 \end{aligned} \quad (13-15).$$

Среднее значение или математическое ожидание скорости ветра $M[v]$ дается выражением:

$$M[v] = \int_0^{\infty} v \times f(v) dv \quad (16).$$

Аналогично рассчитывается среднее значение, или математическое ожидание, любой функции скорости.

В многочисленных исследованиях были предложены различные типы функций распределения скоростей ветра, в том числе табулированные – Поморцева, Гриневича, Гуллена и аналитические – Гриневича, Вейбулла, Рэля. При этом было выявлено, что из простых аналогические распределений скоростей ветра наиболее точные результаты в диапазоне скоростей 4-20 м/с получаются при использовании двухпараметрического распределения Вейбулла, дающегося выражениями:

$$F(v) = e^{-(v/c)^k} \quad (17)$$

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-(v/c)^k} \quad (18)$$

где параметр c , имеющий размерность скорости, характеризует масштаб изменения функции распределения по оси скоростей, а параметр k характеризует крутизну распределения [5,6,18,21-22,29].

При этом, в частности, математическое ожидание s -го начального момента скорости $M[v^s]$ в соответствии с (16) записывается:

$$M[v^s] = c^s \cdot \Gamma\left(1 + \frac{s}{k}\right) \quad (19),$$

где $\Gamma(x)$ – гамма-функция. С ростом k уменьшается разброс ожидаемых значений скорости, а ее s -й начальный момент приближается к значению c^s .

Соответствие между экспериментальным распределением скорости и распределением Вейбулла.

Соответствие между двумя представленными способами описания распределения скоростей ветра может быть установлено различными методами выбора наиболее подходящих параметров k и c для измеренных значений t_i ($i = 1, \dots, n$) выработки случайных значений скорости.

Метод моментов. Метод моментов для определения параметров модельной функции распределения $F(v)$ основывается на условии равенства математических ожиданий моментов скоростей $M[v^s]$ и соответствующих экспериментальных оценок средних значений моментов скоростей $\langle v^s \rangle$ по формуле (2) для $s = 1, 2, \dots$, что дает систему уравнений:

$$M[v^s] = \sum_{i=1}^n v_i^s \cdot t_i; s = 1, 2, \dots \quad (20).$$

Число этих уравнений принимается равным числу независимых параметров функции распределения $F(v)$, что позволяет найти однозначный набор этих параметров. При этом обычно используется уравнения для первых низших моментов скоростей. Для двухпараметрического распределения Вейбулла достаточно использовать два уравнения для первого и второго моментов, которые в соответствии с общим выражением (19) приобретают вид:

$$c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) = \sum_{i=1}^n v_i t_i \quad (21);$$

$$c^2\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) = \sum_{i=1}^n v_i^2 t_i \quad (22).$$

В данном случае уравнения для третьего и более высоких моментов могут служить для оценки ошибки представления экспериментального распределения скоростей модельным двухпараметрическим распределением и одновременно для оценки полноты экспериментальной выборки [5,6,18,21-22,29].

Графический метод и минимизация ошибки. Графический метод представляет приближение модельной кривой функции распределения к кривой экспериментальных значений посредством выбора параметров на основе некоего принятого принципа минимизации ошибки приближения. Наиболее удобными для этого метода представляются случаи, когда с помощью изменения масштабов по осям параметра распределения и функции распределения удастся свести ожидаемую зависимость к прямой линии [5,6,18,21-22,29].

Функции Вейбулла соответствует этим случаям. Действительно, прологарифмировав дважды обе части выражения (17), получаем следующее уравнение:

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{F(v)}\right)\right) = k(\ln v - \ln c) \quad (23),$$

представляющее линейную зависимость функции распределения скоростей ветра вида $\ln \ln[1/f(v)]$ от $\ln v$ с коэффициентом наклона k и постоянным членом, зависящим от параметра c . Соответствующая ей экспериментальная зависимость представляется значениями величины

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{F_i}\right)\right) = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{\sum_j t_j}\right)\right) \quad (24),$$

в точках $\ln v_{iM}$, причем, в соотношении с определением (14), в качестве v_{iM} следует брать минимальное значение скорости в i -м интервале

$$v_{iM} = \sum_{j=1}^{i-1} \Delta v_j \quad (25).$$

Нанесение зависимости (24), (25) в виде графика в некоторых случаях позволяет достаточно точно приблизить его прямой линией и определить искомые параметры k и c .

Существует и более объективная процедура определения параметров k и c , которая состоит в использовании некоторого принципа минимизации ошибки представления, в частности, известного «метода наименьших квадратов», включающего минимизацию суммы квадратов отклонений значений модельной функции от экспериментальных значений:

$$S = \sum_{i=1}^n [\ln(\ln(\frac{1}{F_i})) - k \cdot (\ln v_{iM} - \ln c)]^2 \quad (26).$$

При этом могут возникнуть варианты методики расчета.

Вариант 1. Если параметры k и c считать независимыми, то уравнения для их определения запишутся в виде условий минимальности величины S как функции этих параметров:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dk} &= 0, \\ \frac{dS}{dc} &= 0, \end{aligned} \quad (27, 28),$$

что приводит к следующей системе уравнений (29), (30):

$$\sum_{i=1}^n [\ln(\ln(\frac{1}{F_i})) - k \cdot (\ln v_{iM} - \ln c)] \cdot \ln v_{iM} = 0,$$

$$\sum_{i=1}^n [\ln(\ln(\frac{1}{F_i})) - k \cdot (\ln v_{iM} - \ln c)] = 0 \quad (30).$$

Вариант 2. Если исходить из обычно используемого требования равенства математического ожидания скорости $M[v]$ оценке средней скорости по выборке $\langle v \rangle$, т. е. выполнения соотношения (21), то величина S приобретает выражение

$$\begin{aligned} S = \sum_{i=1}^n [\ln(\ln(\frac{1}{F_i})) - k \cdot \ln(\frac{v_{iM}}{\langle v \rangle}) - \\ - k \cdot \ln(\frac{v_{iM}}{\langle v \rangle}) - k \cdot \ln(\Gamma(1 + \frac{2}{k}))]^2 \quad (31), \end{aligned}$$

и сохраняющееся единственное условие минимума (27) дает уравнение для определения k .

Соответствие, или адекватность, представления реального распределения скорости t_i на интервалах Δv_i аналитической функцией Вейбулла $f(v)$ определяется величиной S или среднеквадратичного отклонения σ , равного

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n [f(v_i) \cdot \Delta v_i - t_i]^2} \quad (32),$$

причем удовлетворительное соответствие для Туркменистана обычно принимается как условие $\sigma < 0.06$ [5,6,18,21-22,29].

Построение функции распределения скорости ветра на различных высотах над поверхностью Земли.

Приведенное в предыдущем разделе рассмотрение распределения скорости ветра относится к высоте флюгера, на которой осуществляются методические измерения скорости ветра. Высота флюгера на метеостанциях может быть различной и обычно находится в пределах 9-20 м. В то же время для оценки ветроэнергетической ценности какой-либо местности необходимо знание ветровой обстановки на различных высотах в приземном слое толщиной примерно 100 м, который в настоящее время интенсивно осваивается с целью использования ветроэнергетических установок. К тому же, как было отмечено выше, показания скорости сильно зависят от открытости местности и защищенности флюгера по различным направлениям ветра. В связи с этим возникает задача построения распределения скоростей ветра для заданной местности и заданной высоты над поверхностью Земли по измеренным значениям скорости на метеостанции с определенными географическими условиями и определенной высотой флюгера.

Решение этой задачи основано на представленных выше зависимостях скорости ветра от классов открытости местности и флюгера K_o, K_ϕ и от высоты h [5,6,18,21-22,29].

Восстановление экспериментального распределения скорости. Метод восстановления экспериментального распределения скоростей, полученного на флюгере с высотой h_ϕ включает пересчет каждого измеренного значения скорости $v_i(h_\phi)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) к значению $v_i(h)$ по формуле:

$$v_i(h) = \left(\frac{K_o}{K_\phi} \right) \cdot \left(\frac{h}{h_\phi} \right)^m \cdot v_i(h_\phi) \quad (33)$$

При этом показатель m , зависящий от скорости $v_i(h_\phi)$, строго говоря, должен определяться эмпирически для данной местности. Для приближенных оценок можно воспользоваться усредненной зависимостью, представленной в таблице 5.

После пересчета всех n измеренных значений скорости находятся новые значения повторяемости скорости $t_i(h)$, соответствующие интервалам Δv_i вблизи значения $v_i(h)$.

Построенное таким образом распределение скоростей может быть использовано, в соответствии в приведенном выше разделе, для оценки характеристик скорости на заданной высоте h , а также для восстановления аналитического распределения скоростей, что дает новую плотность распределения $g[v(h)]$.

Восстановление аналогического распределения скорости ветра по ее среднему значению. Поскольку скорости ветра на различных высотах связаны сложной нелинейной зависимостью (показатель m зависит от скорости), то аналитическое распределение скорости ветра на высоте h будет представляться дифференциальной функцией $g[v(h)]$, принципиально отличной от рассмотренной выше дифференциальной функции распределения скоростей на высоте флюгере $f[v(h_\phi)]$, поскольку должно соблюдаться дифференциальное соотношение

$$g[v(h)] \cdot dv(h) = f[v(h_\phi)] \cdot dv(h_\phi) \quad (34),$$

где dv – дифференциал скорости. И только если $v(h)$ оказывается пропорциональной $v(h_\phi)$, функции $g(v)$ и $f(v)$ совпадают (с точностью до постоянного множителя) [5,6,18,21-22,29].

Интегральная функция распределения $\Phi[v(h)]$ в любом случае выражается через введенную ранее функцию $F[v]$ посредством соотношения

$$\Phi(v) = F\left(\frac{K_\phi}{K_o} \cdot \left(\frac{h_\phi}{h}\right)^m \cdot v\right) \quad (35),$$

где m – функция скорости v .

Однако в практических приближенных расчетах распределения скоростей часто принимается, что показатель m является постоянным в области существенных значений скоростей, так что дифференциальная функция распределения скоростей на высоте h оказывается равной

$$g[v(h)] = \beta \cdot f[\beta \cdot v(h)] \quad (36),$$

а интегральная функция распределения равна

$$\Phi[v(h)] = F[\beta \cdot v(h)] \quad (37),$$

здесь постоянная β равна

$$\beta = \frac{K_\phi}{K_o} \cdot \left(\frac{h_\phi}{h}\right)^m \quad (38),$$

где фиксированное значение m соответствует средней скорости $\langle v(h_\phi) \rangle$.

Распределение (36), (37) дает следующее значение математического ожидания s -го начального момента скорости:

$$\begin{aligned} M[v(h)^s] &= \int_0^\infty v(h)^s \cdot g[v(h)] \cdot dv(h) = \\ &= (c \cdot \beta)^s \cdot \Gamma\left(1 + \frac{s}{k}\right) \quad (39), \end{aligned}$$

т.е. распределение (36) отличается от распределения (18) только масштаба по оси скоростей.

Распределение типа (36) можно строить для значений скорости, усредненных по любому интервалу времени, например, для скорости ветра $\langle v \rangle_{ij}$, измеряемой каждый i -й год в l -й момент (час) суток j -го месяца и усредненной по всем суткам в месяце, или среднемесячной скорости j -го месяца $\langle v \rangle_{ij}$, измеряемой каждый i -й год. Следует отметить, что при этом от распределения к распределению будут изменяться не только средние, или ожидаемые, значения скорости (параметра c), что в первую очередь определяется их временной зависимостью, но и параметры крутизны k , характеризующие статистический разброс соответствующих характеристик скорости [5,6,18,21-22,29].

Удельная мощность и удельная энергия ветрового потока

Удельная мощность потока ветровой энергии равна энергии, переносимой ветром в единицу времени через единицу площади, перпендикулярной скорости ветра. Для стационарного потока воздуха со скоростью v , м/с, удельная мощность $P(v)$, Вт/м², равна:

$$P(v) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad (40),$$

где ρ , кг/м³, – плотность воздуха.

Средняя удельная мощность потока ветровой энергии может быть выражена двояким образом в соответствии с приведенными представлениями распределения скоростей ветра в потоке.

При использовании экспериментальных повторяемостей скоростей t_i средняя удельная мощность $\langle P \rangle$ выражается как

$$\langle P \rangle = \sum_{i=1}^n P(v_i) \cdot t_i = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot t_i \quad (41),$$

т.е. через оценку третьего начального момента скорости.

При использовании аналитической функции распределения скоростей получа-

ем следующее математическое ожидание мощности:

$$M[P] = \int_0^{\infty} P(v) \cdot f(v) dv = \frac{1}{2} \cdot \rho \int_0^{\infty} v^3 \cdot f(v) dv \quad (42),$$

что для распределения Вейбулла дает

$$M[P] = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (43).$$

Различие между результатами расчета мощности по формулам (41) и (43) служит косвенной проверкой адекватности использования аналитической функции распределения скоростей и репрезентативности выработки n измерений скорости [5,6,18,21-22,29].

Формулы (41-43) могут быть применены для любого момента или интервала времени, такого, как месяц, сезон или год. Например, для интервала времени T_j , с, j -го месяца со средней удельной мощностью ветра $\langle P \rangle_j$, среднемесячная удельная энергия ветра E_{Bj} , Дж/(м² * мес.), представляется выражением:

$$E_{Bj} = \langle P \rangle_j \cdot T_j \quad (44),$$

а для периода T , с, всего года со средней мощностью $\langle P \rangle$ среднегодовая удельная энергия ветра E_B , Дж/(м² × год), связана с E_{Bj} ($j = 1, 2, \dots, 12$) соотношением:

$$\begin{aligned} E_B &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot T \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot t_i = \sum_{j=1}^{12} E_{Bj} = \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \sum_{j=1}^{12} T_j \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot t_{ij} \quad (45), \end{aligned}$$

где t_{ij} – повторяемость скорости v_i в j -м месяце.

Аналогичное соотношение существует для оценки среднегодовой удельной энергии ветра как математического ожидания:

$$\begin{aligned} E_B &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot T \cdot \int_0^{\infty} v^3 \cdot f(v) dv = \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \sum_{j=1}^{12} T_j \cdot \int_0^{\infty} v^3 \cdot f_j(v) dv \quad (46), \end{aligned}$$

где $f_j(v)$ – дифференциальная функция распределения скорости ветра в j -й месяц.

Распределение удельной мощности ветрового потока на территории Туркменистана. Для фонового районирования равнинных территорий по удельной мощности ветрового потока (P) используются

данные метеостанций, расположенных в открытой местности на плоских или выпуклых формах рельефа (классы открытости по Милевскому – 6б и выше, таблице 3). В соответствии с этим принципом для районирования для Туркменистана было отобрано около 72 метеостанций и выведены районы, соответствующие следующим шести диапазонам удельной мощности ветра, Вт/м², на высоте 10 м: 1) <75, 2) 75-125, 3) 125-250, 4) 250-500, 5) 500-1000, 6) 1000-1500. Составления карту ветроэнергетического потенциала позволяет определить удельную ветровую энергию на ровной открытой местности. Если же ставить целью размещение ветроэлектрических установок в энергетически более благоприятных условиях, например, на верхних частях склона, то следует ввести поправки, учитывающие форму рельефа местности [5,6,18,21-22, 29,32-34].

Валовый потенциал ветровой энергии региона. Исходя из общего определения валового потенциала возобновляемых источников энергии, можно сформулировать следующее определение для ветровой энергии.

В отличие от других возобновляемых источников энергии, например, солнечной, в определение валового потенциала ветровой энергии входит условие возможности ее использования, поскольку ветер хотя и занимает огромные объемы в атмосфере Земли над регионом, но практически возможно использовать только малую часть общего ресурса ветровой энергии. При этом требуется выработать согласованные принципы возможно использования энергии ветра и оценки соответствующих потенциальных возможностей региона. В современных научных разработках общепринятым принципом является использование энергии ветра на определенной высоте h над поверхностью Земли. В данной работе принимается значение $h = 50$ м.

Регион представляется как совокупность участков, или зон, в каждой из которых удельная мощность ветровой энергии, а также географические, климатические и погодные условия являются однородными по всей площади зоны. Как правило, зоны должны соответствовать расположению метеорологических станций. Валовый потенциал региона представляет сумму валовых потенциалов составляющих его зон [5,6,18, 21-22,29].

Методика определения валового потенциала. В соответствии с определениями, валовый потенциал рассчитывается как суммарная энергия ветра, которая может быть использована системой ветроэлектрических установок высотой h . На основании имеющихся исследований обтекания препятствий воздушными потоками принимается условие, что возмущенный поток полностью восстанавливается расстоянии, равном $20h$ от каждой установки. Таким образом, полное использование энергии ветра высоте h осуществляется ветроэнергетической системой, в которой ряды ветроэнергетических установок, ориентированных перпендикулярно направлению ветра, отстоят друг от друга на расстоянии $20h$, так что полная ветровая энергия, захватываемая установками на площади территории S , m^2 , в год, представляет валовый потенциал территории W_B , кВт*ч/год, который при удельной энергии ветра E_B , кВт*ч/(m^2 * год), равен

$$W_B = E_B \cdot \frac{S}{20} = \frac{1}{40} \cdot \rho \cdot T \cdot S \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot t_i \quad (47)$$

или

$$W_B = \frac{1}{40} \cdot \rho \cdot T \cdot S \cdot \int_0^{\infty} v^3 \cdot f(v) dv \quad (48)$$

Для распределения Вейбулла это дает выражение:

$$W_B = \frac{1}{40} \cdot \rho \cdot T \cdot S \cdot c^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (49).$$

Валовый потенциал можно представить как сумму потенциалов j -х месяцев W_{Bj}

$$W_B = \sum_{j=1}^{12} W_{Bj} = \sum_{j=1}^{12} E_{Bj} \cdot \frac{S}{20} \quad (50).$$

Значение валового потенциала, соответствующее высоте $h = 50$ м, может быть получено путем использования восстановления дифференциальной повторяемости скорости ветра на этой высоте t_1 по данным скоростей на высоте флюгера, полученным на ближайшей метеостанции или специальными измерениями, а также путем использования восстановления дифференциальной функции распределения скоростей $f(v)$, как это описано в выше и приведены на рисунке 4,5 [5,6,18,21-22,29].

Различие между численными значениями по формулам (47) и (48) служит оценкой погрешностей измерений и методики расчета валового потенциала ветровой энергии.

Технический потенциал ветровой энергии региона. Исходя из общего определения технического потенциала возобновляемых источников энергии, а также отмеченной выше специфики использования ветровой энергии, можно сформулировать следующее определение.

Технический потенциал региона представляет сумму технических потенциалов составляющих его зон [5,6,18-22,29].

Методика определения технического потенциала. Один из основных параметров технического потенциала зона представляет площадь территории S_T , m^2 , которая по хозяйственным и экологическим соображениям представляется целесообразной для использования ветровой энергии; она равна части q общей площади S , остающейся после вычитания площадей сельскохозяйственных угодий, промышленных и водохозяйственных территорий, парков, жилых, медицинских и культурных строений и др.,

$$S_T = q \cdot S \quad (51).$$

Значение q являются специфическими для каждой зоны, причем в настоящее время приняты следующие правила [29,30]:

- утилизация ветровой энергии целесообразна в районах, где среднегодовая скорость ветра не ниже 5 м/с, или, в соответствии с более точным подходом, коэффициент использования установленной мощности ветроэлектрической установки большого класса мощности (более 100 кВт) оказывается не ниже 20%;

- в указанных районах для развития ветроэнергетики может быть использовано, не более 30% территории;

- наиболее эффективным является утилизация ветровой энергии с помощью ветроэлектрических установок большой мощности (от 100 до 500 кВт).

В Туркменистане общая площадь регионов со среднегодовой скоростью ветра свыше 5 м/с составляет около 15% ее территории, а площадь регионов с коэффициентом использования мощности более 20% (для современных установок мощностью 250 кВт) превышает 20% территории. Таким образом, для Туркменистана получаем среднюю оценку $q \approx 0.06$. Распределение ветроэнергетических ресурсов Туркменистана установленной мощности по территории представлено на рисунке 6 [5,6,18,21-22,29].

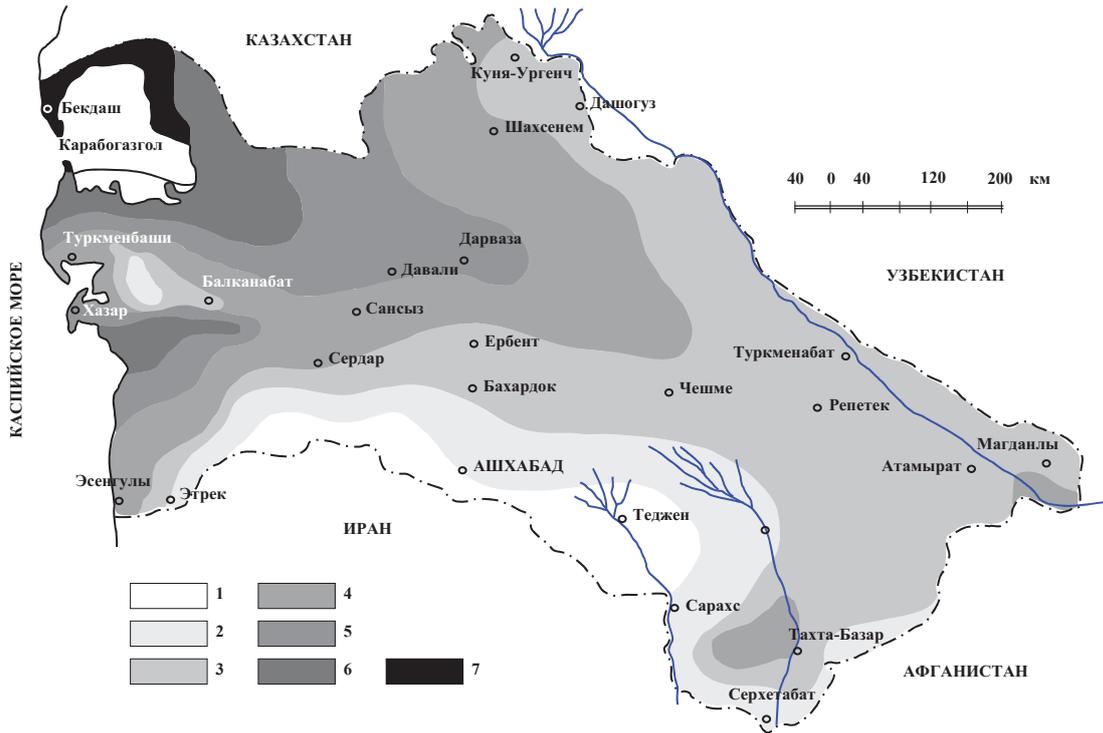


Рис. 6. Ветроэнергетические ресурсы Туркменистана
 1 – районы, где энергия воздушного потока с 90%-ной обеспеченностью составит менее 100 кВтч/м² в год; 2 – от 100 до 200; 3 – от 200 до 400; 4 – от 400 до 600; 5 – от 600 до 800; 6 – от 800 до 1000; 7 – более 1000

Мощностная зависимость. Зависимость мощности ветроэлектрической установки $N(v)$, Вт, с диаметром ветротурбины D , м, от скорости ветра определяется выражением:

$$N(v) = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot P(v) \cdot \eta(v) = \frac{\pi}{8} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \eta(v) \quad (52).$$

где $\eta(v)$ – КПД установки при данной скорости ветра.

Средняя мощность ветроэлектрической установки $\langle N \rangle$, Вт, приобретает выражение

$$\langle N \rangle = \frac{\pi}{8} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot \eta(v_i) \cdot t_i \quad (53),$$

ее математическое ожидание имеет вид

$$M[N] = \int_0^{\infty} N(v) f(v) dv = \frac{\pi}{8} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot \int_0^{\infty} v^3 \cdot \eta(v) \cdot f(v) dv \quad (54).$$

Порядок размещения ветроэлектрических установок для максимального исполь-

зования ветрового потока в общем случае зависит от розы ветров на местности.

Модель обладает серьезными недостатками. Во-первых, в точке $v = v_B$ происходит скачкообразное изменение мощности $N(v)$, что физически не реально и не подтверждается экспериментально. Во-вторых, в расчетной точке $v = v_p$ КПД современных ветроэлектрических установок намного меньше максимального КПД (59). Поэтому данная модель дает завышенные значения мощности [5,6,18,21-22,29].

Если ветры имеют одно преимущественное направление, например, на побережье морей, то, как и при расчете валового потенциала, оптимальная структура ветроэнергетической системы соответствует расположению ветроэлектрических установок в виде рядов, ориентированных перпендикулярно ветру и отстоящих друг от друга на расстоянии $20 D$. При этом на площади S_T можно разместить $S_T / (20 \times D^2)$ установок, так что энергия, вырабатываемая в течение года ($T = 8760$ ч/год) всеми установками на площади S_T , т.е. технический потенциал ветровой энергии W_T кВт*ч/год, оказывается равной

$$W_T = \frac{\langle N \rangle}{1000} \cdot T \cdot \frac{S_T}{20 \cdot D^2} \quad (55),$$

что при учете выражения (53) дает:

$$W_T = \frac{T \cdot S_T}{100000} \cdot \frac{\pi}{1.6} \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot \eta(v_i) \cdot t_i \quad (56).$$

Если ветры могут менять свои направления примерно равномерно по румбам, то ветроэлектрические установки целесообразно размещать в шахматном порядке с расстоянием между ближайшими $20D$. При этом на площади S_T можно разместить $S_T/(100D)$ установок, так что технический потенциал ветровой энергии D , кВт*ч/год, оказывается равным

$$W_T = \frac{\langle N \rangle}{1000} \cdot T \cdot \frac{S_T}{100 \cdot D^2} \quad (57),$$

что для (53) дает

$$W_T = \frac{T \cdot S_T}{100000} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot \eta(v_i) \cdot t_i \quad (58)$$

т.е. в 5 раз меньше потенциала (56).

В более общем случае, когда существует преимущественный сектор направлений ветра, целесообразно обеспечить специальное размещение ветроэлектрических установок на территории и, в таком случае, технический потенциал будет представляться значением промежуточным между (55) и (57) [5,6,18,21-22,29].

Следует отметить, что технический потенциал ветровой энергии оказывается независимым от диаметра ветроколеса D , т.е. от абсолютной мощности используемых ветроэлектрических установок.

Зависимость мощности современных ветроэлектрических установок от скорости ветра $N(v)$ включает три характеристические значения скорости: минимальное значение, или скорость включения v_B такая что при $v \leq v_B$ мощности ветротурбины не хватает даже на преодоления момента сил трения на оси турбины, т.е. $N(v) = 0$; расчетное значение v_p , такое что при $v_B \leq v \leq v_p$ ветроэлектрическая установка развивает мощность и достигает номинального или установленного значения N_p ; максимальное значение, или скорость отключения, v_o , такая что в области $v_p \leq v \leq v_o$ поддерживается постоянная мощность N_p за счет регулирующих устройств. При $v \geq v_o$ энергия ветра не используется во избежание поломки установки. Поэтому зависимость

кпд от скорости $\eta(v)$ является весьма сложной.

Зависимость $N(v)$ является основной технической характеристикой, специфической для каждой ветроэлектрической установки и, строго говоря, должна входить в ее паспортные данные. Для оценки современного технического уровня разработок существуют две теоретические модели описания предельных характеристик мощности ветроэлектрической установки, представленные ниже [5,6,18,21-22,29].

Модель постоянного коэффициента полезного действия в области выхода ветроэлектрической установки на расчетный режим.

Первая модель [18] основана на использовании условия постоянства кпд установки $\eta(v)$ в области скорости $v_B \leq v \leq v_p$ и равенства его значению:

$$\eta_o = \xi \eta_p \eta_r \quad (59),$$

где ξ – реально достижимое значение коэффициента использования энергии ветра ветроколесом ($\xi = 0.45 - 0.48$); $\eta_p = 0.9$ и $\eta_r = 0.95$ – достижимые кпд редуктора и генератора, соответственно. При этом расчетное значение установленной мощности равно:

$$N_p = (\pi/8) D^2 \rho v_p^3 \eta_o \quad (60),$$

а кпд в области скоростей $v_p \leq v \leq v_o$ ($N = \text{const}$) падает обратно пропорционально кубу скорости

$$\eta(v) = \eta_o (v_p / v)^3 \quad (61).$$

Модель обладает серьезными недостатками. Во-первых, в точке $v = v_p$ происходит скачкообразное изменение мощности $N(v)$, что физически не реально и не подтверждается экспериментально. Во-вторых, в расчетной точке $v = v_p$ кпд современных установок на много меньше максимального кпд (59). Поэтому данная модель дает завышенные значения мощности [5,6,18,21-22,29].

Модель линейного возрастания мощности в области выхода ветроэлектрической установки на расчетный режим

Более адекватной является вторая теоретическая модель, в которой предполагается, что в области $v_B \leq v \leq v_p$ мощность ветроэлектрической установки изменяется линейно от $N(v_B) = 0$ до $N(v_p) = N_p$ (например, [18,30]). Таким образом, данная модель включает следующую зависимость мощности ветроэлектрической установки от скорости ветра:

$$\begin{aligned} N(v) &= 0; v \leq v_B; v \geq v_O; \\ N(v) &= N_P (v - v_B) / (v_P - v_B); v_B \leq v \leq v_P \\ N(v) &= N_P; v_P \leq v \leq v_O \end{aligned} \quad (62-64)$$

При этом КПД установки имеет следующую зависимость:

$$\begin{aligned} \eta(v) &= 0; v \leq v_B; v \geq v_O; \\ \eta(v) &= \eta(v_P) (v_P / v)^3 (v - v_B) / (v_P - v_B); v_B \leq v \leq v_P; \\ \eta(v) &= \eta(v_P) (v_P / v)^3; v_P \leq v \leq v_O \end{aligned} \quad (65-67)$$

где значение КПД в расчетной точке равно:

$$\eta(v_P) = 8N_P / (\pi D^2 \rho v_P^3) \quad (68).$$

КПД (2.70) имеет максимальное значение η_M (69):

$$\eta_M = (4/27)\eta(v_P)(v_P/v_B)^3 / (v_P/v_B - 1),$$

в точке v_M :

$$v_M = (3/2)v_B \quad (70).$$

При условии $v_M \leq v_P$, что обычно выполняется, получаем: $\eta_M \geq \eta_P$. В частности, для ветроэлектрической установки фирмы MS-3 с установленной мощностью 300 кВт имеет: $v_B = 5.0$ м/с, $v_P = 11.4$ м/с, так что КПД в расчетной точке значительно меньше максимального КПД $\eta_P = 0.73 \eta_M$.

Данная модель довольно хорошо согласуется с экспериментом и в последние годы обычно используется в исследованиях и практических расчетах. Фактически представленная зависимость характеризует технический уровень современных разработок ветроэлектрических установок. Соответственно этому средняя мощность ветроэлектрической установки $\langle N \rangle$, Вт, приобретает выражение (71):

$$\langle N \rangle = N_P \cdot \left(\sum_{v_j \geq v_B}^{<v_P} \frac{(v_i - v_B) \cdot t_i}{v_P - v_B} + \sum_{v_i \geq v_P}^{<v_O} t_i \right),$$

где v обозначает значение v_i , ближайшее снизу к значению v .

Поскольку установленная мощность N_P пропорциональна D^2 , то технический потенциал W_T (55) или (57) по-прежнему не зависит от D .

Полученные выражения для технического потенциала (56), (58), как и (71), мож-

но также представить в виде интегралов с функцией распределения по скоростям $f(v)$.

Отношение средней мощности ветроэлектрической установки $\langle N \rangle$ (или ее математического ожидания) к установленной мощности N_P , называемое коэффициентом использования установленной мощности K ,

$$K = \frac{\langle N \rangle}{N_P} \quad (72)$$

является важной характеристикой одновременно самой установки и ветровой энергии [5,6,18,21-22,29].

Экономические характеристики ветроэлектрических установок. Ветровая энергия представляет один из наиболее дешевых возобновляемых источников энергии. Однако проблема широко использования ветроэлектрических установок в энергетике связана с их экономической эффективностью и конкурентоспособностью по сравнению с традиционными системами.

Удельная стоимость производимой электроэнергии и установленной мощности ветроэлектрических установок. В начале 80-х гг., когда в мире началось промышленное использование ветроэлектрических установок, средняя стоимость производимой ими электроэнергии составляла примерно 30 цент./(кВт*ч), что было значительно выше стоимости энергии от традиционных органических источников – нефти, угля и газа. За последние 15 лет стоимость электроэнергии от установок, подключенных к энергосистемам, снизилась более чем в 6 раз. На рис.7 [30] представлены графики изменения стоимости вырабатываемой электроэнергии и установленной мощности зарубежных сетевых ветроэлектрических станций по годам. В 1996 г. сто-

имость электроэнергии составляла менее 5 цент./($\text{kВт}\cdot\text{ч}$) и была сравнима со стоимостью энергии, получаемой при использовании традиционных топлив. Более того, в настоящее время, например, в Дании стоимость электроэнергии от ветроэлектрических станций меньше, чем от электростанций на угле.

За тот же 15-летний период удельная стоимость установленной мощности ветроэлектрических станций, подключенных к энергосистемам, уменьшилась в 4 раза с 4000 долл./кВт до 1000 долл./кВт [5,6,18,21-22,29].

Стоимость установленной мощности возобновляемых источников энергии для конкретного региона, в том числе ветроэлектрических установок, включает в стоимость производства соответствующего оборудования, расходы по его транспортировке на место установки и стоимость строительства. Определение стоимости установки, а также ресурса ее работы в натуральных условиях, позволяет установить стоимость вырабатываемой полезной энергии и привести сравнение с другими источниками энергии, в первую очередь с традиционными. Тем самым может быть определена экономическая целесообразность и эффективность использования того или иного вида возобновляемых источников энергии в данном регионе.

Основной подход к расчету экономических параметров установок возобновляемых источников энергии был предложен и представлен в работе [18]. Он включает определение эффективности установок в конкуренции с использованием традиционных видов топлив для трех характерных зон страны: зоны централизованного гарантированного энергоснабжения, зоны централизованного энергообеспечения с дефицитом электроэнергии и зоны с автономным энергообеспечением.

Пустыня Каракумы в Туркменистане занимает 80% территории и около 40 млн. га отведены под пастбищные угодья, где имеются малые населенные пункты, в которых проживают животноводы. ЛЭП невыгодно тянуть, для таких категории земель важную роль может сыграть использование возобновляемых источников энергии [5,6,18,21-22,29].

Удорожание энергоносителей во всем мире в последние десятилетия, повышающиеся требования к чистоте окружающей среды, а также рост потребления энергии-

приводят к увеличению затрат для получения тепловой и электрической энергии, вырабатываемой с использованием органического топлива.

Вследствие же совершенствования технологий преобразования энергии возобновляемых источников, заметно снижение стоимости электроэнергии, вырабатываемой при их использовании [5,6,18,21-22,29].

Составленная карта на рис. 6, дает количественную оценку ветроэнергораспределения ресурсов на территории Туркменистана. Используя ее, можно подсчитать энергетические ресурсы пастбищных районов. Годовой экономический эффект от комбинированного использования гелиоветроэнергетических систем теплоснабжения дома в сельской местности площадью 150 м² составит 0.4 тыс. долларов в год и сэкономит на душу внесения 180-200 кг. у.т. в год. За счет ветроагрегата можно удовлетворить от 40-85% энергопотребления. Во многих странах мира ветроагрегаты в первую очередь широко используются в малых населенных пунктах, сельской местности, в приморских районах, следовательно, в Туркменистане есть все возможности для активного применения гелиоветроэнергоустановок для улучшения бытовых условий человека.

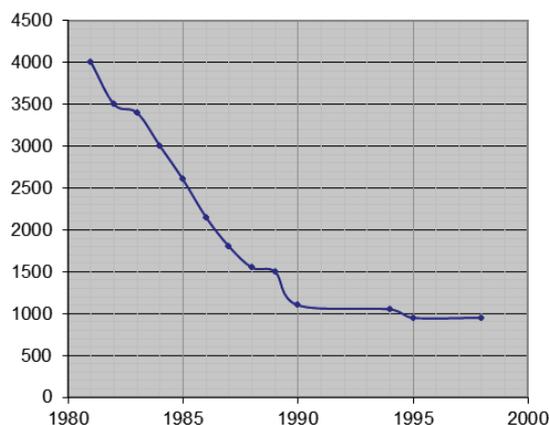


Рис. 7. Изменение стоимости электроэнергии и удельная стоимость установленной мощности сетевых ВЭС за рубежом

На основе данных зарубежного источника приведены [3,4,9-11] стоимость электроэнергии, вырабатываемой электростанциями (ЭС), использующими традиционные энергоресурсы и необходимые удельные капитальные вложения.

По данным [5,6,18,21-22,29] в Дании и Англии уже достигнута стоимость электро-

энергии (4,0-4,7 цент /кВтч.) вырабатываемой ветроэлектроустановками (ВЭУ), хотя удельные капитальные вложения там несколько выше (1200-1600 долл. США/кВт).

Стоимость электроэнергии, вырабатываемой, на основе возобновляемых источников энергии сравнивалась, а в некоторых случаях стала ниже стоимости энергии, вырабатываемой ЭС на традиционном топливе. Кроме того, прослеживается тенденция удешевления электроэнергии, вырабатываемой ветро и солнечными ЭС и удорожания энергии, вырабатываемой традиционными ЭС с использованием органического топлива.

Несмотря на низкий коэффициент использования установочной мощности ($\leq 0,5$) [18] и вероятностный характер выработки электроэнергии становятся конкурентно способными с ЭС на традиционном топливе.

Экономическая эффективность ветроэлектрических установок в зонах централизованного энергообеспечения. Стоимость вырабатываемой электроэнергии Π , долл./кВт*ч или руб./кВт*ч, и стоимость установленной мощности C , долл./кВт или руб./кВт, связаны с такими экономическими параметрами, как срок окупаемости и срок службы установки.

Срок окупаемости ветроэлектрической установки $T_{ок}$, год, определяется по формуле

$$T_{ок} = \frac{N_p \cdot C}{E \cdot \Pi_T - I_{эк}} \quad (73),$$

где $N_p \times C$ – общая стоимость установки (капитальные затраты), долл. или манат; $E = \langle N \rangle T$ – электроэнергия, вырабатываемая установкой в год, кВт*ч/год, $T = 8760$ ч/год; Π_T – стоимость энергии традиционного источника, долл./год или ман./кВт*ч; $I_{эк}$ – издержки эксплуатации, долл./год или ман./год.

Стоимость энергии, выработанной установкой, Π , долл./кВт*ч или ман./кВт*ч, связана со сроком службы установки $T_{сл}$ год, соотношением

$$\Pi = \frac{N_p \cdot C + I_{эк} \cdot T_{сл}}{E \cdot T_{сл}} \quad (74).$$

Если ввести коэффициент использования установленной мощности K (71) и норму издержек эксплуатации γ , 1/год, в соответствии с условием

$$I_{эк} = \gamma N_p C \quad (75),$$

то срок окупаемости (73) представится в виде:

$$T_{ок} = \frac{C}{T \cdot K \cdot \Pi_T - \gamma \cdot C} \quad (76),$$

а стоимость энергии (74) выразится как

$$\Pi = \frac{C \cdot (1 + \gamma \cdot T_{сл})}{K \cdot T \cdot T_{сл}} \quad (77).$$

Экономический эффект использования ветроэлектрической установки \mathcal{E} , выраженный в долл., или ман., может определен как цена энергии, произведенной установки за период работы после срока окупаемости установки:

$$\mathcal{E} = (T_{сл} - T_{ок}) \cdot (E \cdot \Pi_T - I_{эк}) \quad (78).$$

Как видно, экономические показатели, определяющие целесообразность и эффективность использования ветроэлектрических установок, сильно зависят от стоимости Π_T электроэнергии, получаемой от традиционных видов топлива. В зонах централизованного энергоснабжения стоимость довольно низка, что снижает экономический эффект использования энергии ветра. По тарифу 1999 г. $\Pi_T = 48$ ман./кВтч, или примерно 0.009 долл. США/кВт*ч, т.е. в несколько раз меньше стоимости электроэнергии, вырабатываемой ветроустановками. В тоже время наличие электрических сетей является благоприятным условием для подключения к ним ветроэлектрических установок и обеспечивая их устойчивой работы [5,6,18,21-22,29].

Практически важный случай представляют районы, формально находящиеся в зонах централизованных энергосетей, но остродефицитные по энергии. Наличие дефицита энергии, как правило, приводит к значительным потерям, с том числе материальным и финансовым. Это означает, что в энергодефицитных районах проблема использования возобновляемых источников энергии становится более насущной и острой, а определение экономического эффекта ввода энергоустановки приводит к замене формулы (78) на следующую:

$$\mathcal{E} = (T_{сл} - T_{ок}) \cdot (E \cdot \Pi_T - I_{эк}) + T_{сл} Q (\Pi_{пр} - \Pi_T) \quad (79),$$

где Q , кВт*ч/год, – годовой дефицит энергии, покрываемой энергоустановкой; $\Pi_{пр}$, ман./кВт*ч, удельная цена потерь от дефицита энергии.

Величины Q и C_{II} могут иметь другую интерпретацию, пригодную для любого региона, на только остродефицитного.

Именно:

Q , кВт*ч/год, – годовая потребность промышленного производства региона в электроэнергии, покрываемая энергоустановкой;

C_{II} , ман./(кВт*ч), – цена товаров промышленного производства региона, приходящаяся на единицу потребляемой электроэнергии [5,6,18,21-22,29].

Экономический эффект использования автономных энергоустановок и региональные факторы стоимости. Гораздо больший экономический эффект имеет создание автономных ветроэлектрических установок в регионах, удаленных от централизованных энергосетей, хотя при этом возникают определенные трудности обеспечения их устойчивой работы в условиях быстрого изменения скорости ветра, а также возможных длительных периодов затишья. Потребности населения и хозяйства указанных регионов в электроэнергии весьма велики, а стоимость традиционных видов топлива намного выше их стоимости в зонах централизованного получения и распределения энергии из-за транспортных расходов и потерь топлива при транспортировке. Исходя из этого, в стоимость топлива в регионе C_{TP} включается региональный фактор r_p :

$$C_{TP} = r_p \cdot C_T \quad (80),$$

где $r_p > 1$ и для различных регионов может изменять свою величину. В то же время удельная стоимость установленной мощности C почти не изменяется в сравнении с C_{TP} . Поэтому при замене C_T на C_{TP} в формулах (73), (79) рассчитываемый срок окупаемости атомных установок в зонах, удаленных от централизованных сетей, уменьшается, а экономический эффект возрастает пропорционально r_p .

Необходимо также учитывать, что сегодня в Туркменистане цены на энергоносители имеют нерегулярный характер, подвержены постоянному росту и неравномерности по регионам Туркменистана, прежде всего из-за условий транспортировки. Поэтому решение вопроса об экономической целесообразности и эффективности использования ветроэлектрических установок, как и установок других нетрадиционных видов

энергии, сильно зависит от местных климатических, географических и социально-экономических условий [3-9,13-22,26-29].

В представленных выражениях, определяющих экономическую эффективность, не учитывается влияние вводимых установок на окружающую природу, на социальные условия жизни и деятельности человека, что в целом определяется как экологические условия. Возобновляемые источники энергии по сравнению с традиционными обладают важными преимуществами, заключенным в возможности обеспечения экологической чистоты вводимых установок, а в некоторых случаях – возможности улучшения экологической обстановки.

Одной из форм учета влияния вводимых источников энергии на экологию региона может быть введение в удельную стоимость получаемой энергии регионального экологического фактора источника r_3 , учитывающего относительные расходы на компенсацию вредных последствий ввода единицы энергии того или иного источника в регионе. Если C – удельная стоимость источника энергии в производстве, то удельная стоимость с учетом регионального экологического фактора C_3 выражается как

$$C_3 = r_3 C \quad (81),$$

причем $r_3 > 1$ для источника, приводящего к ухудшению экологической обстановки в регионе, и $r_3 < 1$ – для источника, улучшающего экологическую обстановку в регионе; для одного и того же источника r_3 в различных регионах может изменять величину, становиться больше или меньше единицы. Аналогичное выражение существует и для стоимости традиционных видов топлива:

$$C_{TP3} = r_{T3} \cdot C_{TP} = r_{T3} \cdot r_p \cdot C_T \quad (82).$$

Таким образом, с учетом регионального фактора стоимости топлива и регионального экологического фактора срок окупаемости и экономический эффект использования ветроэлектрической установки в общем случае определяются выражениями:

$$T_{OK} = \frac{N_p \cdot r_3 \cdot C}{E \cdot C_{TP3} - I_{ЭК}} \quad (83),$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & (T_{СЛ} - T_{OK})(E C_{TP3} - I_{ЭК}) + \\ & + T_{СЛ} Q(C_{II} - C_{TP3}) \quad (84). \end{aligned}$$

Таблица 7

Срок окупаемости ветроэлектрических установок T_{OK} , год

Стоимость электроэнергии, $C_{TPЭ}$, долл./кВт*ч	Коэффициент использования установленной мощности K , %					
0.01	26.6					
0.02	7.98	13.0	26.6			
0.05	2.58	3.75	5.92	7.98	12.3	26.6
0.10	1.21	1.78	2.58	3.33	4.70	7.98

Зависимость срока окупаемости ветроэлектрической установки T_{OK} от коэффициента использования установленной K (72) при современной стоимости установленной мощности $C_{Э} = 1000$ долл./кВт и типичном значении нормы эксплуатационных издержек $\gamma = 0.05$ представлена в таблице 7 для ряда значений стоимости электроэнергии из традиционных видов топлива $C_{TPЭ}$ [3-9,13-22,26-29].

Следует отметить, что экономический эффект (84) можно представить как сумму экономических эффектов j – месяцев каждого года с длительность T_j , ч/мес., средней мощностью $\langle N \rangle$, кВт, и потребностью производства Q_j , кВт*ч/мес., посредством представления (85):

$$E = \langle N \rangle \cdot T = \sum_{j=1}^{12} E_j = \sum_{j=1}^{12} \langle N \rangle_j \cdot T_j;$$

$$Q = \sum_{j=1}^{12} Q_j \quad (85).$$

Эти выражения позволяют учесть относительный вклад месяцев в году получение экономического эффекта и в покрытие соответствующих потребностей в энергии за счет ветроэлектрической установки.

Если в регионе функционируют M ветроэлектрических установок, то суммарный экономический эффект их использования \mathcal{E}_B , долл. или руб., при общей потребности производства региона в электроэнергии Q_{TP} , кВт/год, равен:

$$\mathcal{E}_B = \mathcal{E}M = (T_{TC} - T_{OK})M(E C_{TPЭ} - C_{ЭК}) + T_{CL} Q_{II} (C_{II} - C_{TPЭ}) \quad (86).$$

Поскольку обычно удельная цена производимых промышленностью ценностей (или материальных и финансовых потерь из-за дефицита энергии) больше соответствует стоимости топлива (а часто – много больше),

$$C_{II} > C_{TPЭ} \quad (87),$$

то экономический эффект использования энергии нетрадиционных источников может оказаться очень значительным.

Экономический эффект расчет с увеличением срока службы установки T_{CL} , а при $T_{CL} < T_{OK}$ может оказаться отрицательным, что соответствует невыгодности применения установки [3-9,13-22,26-29].

4. Экономический потенциал ветровой энергии региона

Экономический потенциал ветровой энергии региона – это величина годового поступления электрической энергии в регионе от использования ветроэлектрических установок, получение которой экономически оправдано при существующем уровне цен на производство, транспортировку и потребление энергии и топлива и соблюдении экологических норм.

Экономический потенциал региона представляет сумму экономических потенциалов составляющих его зон [18-22,30].

Методика определения экономического потенциала. В соответствии с определением экономический потенциал ветровой энергии региона $W_{Э}$, кВт*ч/год, представляет энергию, которая может быть выработана в год ветроэлектрическими установками при условии, что их экономический эффект положителен

$$\mathcal{E}_B > 0 \quad (88).$$

При анализе выполнимости этого условия возможны два варианта.

Вариант 1. Если срок службы установки больше или равен сроку ее окупаемости,

$$T_{CL} \geq T_{OK} \quad (89)$$

то в силу обычно условия (87) экономический эффект использования установок (86) является положительным при любом их числе. Это означает, что в данном случае це-

лесообразно использовать максимально возможную мощность ветроэлектрических станций, так что экономический потенциал ветровой энергии оказывается совпадающим с техническим потенциалом, представленным выше в разделе:

$$W_{\mathcal{E}} = W_T \quad (90).$$

Вариант 2. Если срок службы установок меньше срока ее окупаемости,

$$T_{\text{сл}} < T_{\text{ок}} \quad (91),$$

то выполнение условия эффективности (88) соответствует следующему ограничению на полную мощность ветроэнергетических систем:

$$\frac{E - I_{\text{ЭК}} \cdot M}{C_{\text{ТРЭ}}} \cdot M \leq \frac{T_{\text{сл}} \cdot Q_{\text{П}} \cdot (C_{\text{П}} - C_{\text{ТРЭ}})}{(T_{\text{ок}} - T_{\text{сл}}) \cdot C_{\text{ТРЭ}}} \quad (92),$$

и одновременно, естественно,

$$E \times M \geq Q_{\text{П}} \quad (93).$$

Таким образом, в этом случае экономический потенциал соответствует наименьшей из двух представленных ниже величин.

Если срок службы близок к сроку окупаемости, точнее, если

$$T_{\text{ок}} - T_{\text{сл}} < T_{\text{сл}} \cdot Q_{\text{П}} / W_T \quad (94).$$

то экономический потенциал, как и в варианте 1, равен техническому потенциалу:

$$W_{\mathcal{E}} = W_T \quad (95).$$

Если отличие срока службы от срока окупаемости значительно, то экономический потенциал определяется выражением:

$$W_{\mathcal{E}} = T_{\text{сл}} Q_{\text{П}} (C_{\text{П}} - C_{\text{ТРЭ}}) / [(T_{\text{ок}} - T_{\text{сл}}) C_{\text{ТРЭ}}] + M I_{\text{ЭК}} / C_{\text{ТРЭ}} \quad (96).$$

При условиях:

$$T_{\text{ок}} - T_{\text{сл}} \sim T_{\text{сл}}; C_{\text{П}} \gg C_{\text{ТРЭ}} \quad (97),$$

и пренебрежении эксплуатационными издержками экономический потенциал дается оценкой

$$W_{\mathcal{E}} \sim Q_{\text{П}} C_{\text{П}} / C_{\text{ТРЭ}} \gg Q_{\text{П}} \quad (98).$$

В различных зонах региона для ветроэлектрических установок даже одного типа могут выполняться различные условия определения экономического потенциала (89), (94) или (97), что в значительной мере зависит от ветровой обстановки. Соответственно этому значения экономических потенциалов зон определяется формулами (90), (96) или (98). Экономический потенци-

ал региона будет равен их сумме [3-9,13-22,26-29].

Анализ данных по времени окупаемости ветроэлектрических установок, представленных в таблице 7, а также в существующей литературе, показывает, что условие (89) в реальных случаях может выполняться в зависимости от значений коэффициента использования установленной мощности установок K и региональной стоимости электроэнергии из традиционного топлива $C_{\text{ТРЭ}}$. С использованием выражений (75), (81), (83) условие (89) может быть предоставлено в виде

$$K \geq K_{\mathcal{E}} \quad (99),$$

где

$$K_{\mathcal{E}} = (1 + \gamma T_{\text{сл}}) C_{\mathcal{E}} / (C_{\text{ТРЭ}} T \cdot T_{\text{сл}}) \quad (100)$$

- коэффициент, определяющий область экономической целесообразности использования установки; $T = 8760$ ч/год. Регионы, в которых выполняется условие (99), имеют экономический потенциал ветровой энергии, равный их техническому потенциалу. При этом должно учитываться ограничение $K < 1$, так что при $K_{\mathcal{E}} > 1$ условие (99), естественно, не выполняется [3-9,13-22,26-29].

Для типичных величин $C_{\mathcal{E}} = 1000$ долл./кВт, $\gamma = 0.05$ 1/год, $T_{\text{сл}} = 10$ лет, $C_{\text{ТРЭ}} = 0.04$ долл./кВт*ч) получается значение $K_{\mathcal{E}} = 0.43$.

Если условие (99) не выполняется, т. е.

$$K < K_{\mathcal{E}} \quad (101),$$

то экономический потенциал ветровой энергии сохраняет значение (95) при достаточно больших K :

$$K \geq K_{\mathcal{E}} / [1 + Q_{\text{П}} (C_{\text{П}} / C_{\text{ТРЭ}} - 1) / W_T] \quad (102),$$

в промежуточной области значений K

$$K_{\mathcal{E}} C_{\text{ТРЭ}} / C_{\text{П}} \leq K \leq K_{\mathcal{E}} / [1 + Q_{\text{П}} (C_{\text{П}} / C_{\text{ТРЭ}} - 1) / W_T] \quad (103),$$

экономический потенциал равен

$$W_{\mathcal{E}} = K Q_{\text{П}} (C_{\text{П}} / C_{\text{ТРЭ}} - 1) / (K_{\mathcal{E}} - K) \quad (104),$$

а при малых K

$$K \leq K_{\mathcal{E}} C_{\text{ТРЭ}} / C_{\text{П}} \quad (105),$$

экономический потенциал равен нулю:

$$W_{\mathcal{E}} = 0 \quad (106).$$

Условие (105) означает, что стоимость энергии, производимый ветроэлектрической установкой, настолько большая, что создаваемые с ее помощью товары про-

мышленного производства по стоимости не покрывают расходов на электроэнергию, т.е. Использование установки нецелесообразно.

Таким образом, экономический потенциал ветровой энергии региона W_3 имеет растущую зависимость от коэффициента использования установленной мощности K , определяемую тремя параметрами: коэффициентом экономической целесообразности установки K_3 , экономическим параметрам потребности промышленности региона в энергии Q_{II} / W_T и ценовым параметром промышленного производства $C_{II} / C_{ТРЕ}$. При этом, как показывает сравнение с результатами, зависимость W_3 ветровой энергии от отношения K/K_3 полностью совпадает с общей зависимостью экономического потенциала солнечной энергии от $V / V_{ТКР}$ приведенной на рис. 10.

Общая потребность региона в электроэнергии Q_0 представляет сумму потребности производства Q_{II} и бытовой потребности населения Q_B введенной в [22-29]:

$$Q_0 = Q_{II} + Q_B \quad (107),$$

$$Q_B = pN_q \quad (108),$$

где p , Вт/чел., – средняя норма потребления электроэнергии одним человеком в быту (освещение, радио, телефон, телевизор, водоснабжение, бытовые электроинструменты); N_q – число людей в регионе, нуждающихся в обеспечении быта электроэнергией.

В соответствии с этим можно использовать введенное ранее понятие избытка экономического потенциала ветровой энергии региона ΔW_3 , представляющего разницу между экономическим потенциалом и общей потребностью региона в электроэнергии:

$$\Delta W_3 = W_3 - Q_0 \quad (109).$$

Если $\Delta W_3 > 0$, то регион является экономически обоснованным потенциальным донором электроэнергии; если $\Delta W_3 < 0$, то регион является потенциально дефицитным по энергии [18-23,29].

Расчет основных параметров распределения Вейбулла для скорости ветра. Для построения аналитической функции распределения скорости ветра по фактическим данным повторяемости скоростей используется изложенный выше в разделе метод моментов, который основан на равенстве математических ожиданий первого и второго начальных моментов скорости (21) и (22), получаемых из распределения Вейбулла, экспериментальным оценкам соот-

ветственно среднего значения скорости и среднего квадрата скорости. Используя эти равенства, после вычислений по данным получаем следующие уравнения:

$$c \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) = \sum_{i=1}^n v_i \cdot t_i = 9.30 \text{ м/с} \quad (111)$$

$$c^2 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) = \sum_{i=1}^n v_i^2 \cdot t_i = 115.6 (\text{м/с})^2 \quad (112)$$

Отсюда находим значения параметров распределения Вейбулла для скоростей ветра на высоте $h = 10$ м:

$$c = 10.46 \text{ м/с}; k = 1.8 \quad (113)$$

Параметры распределения Вейбулла для скоростей ветра на высоте $h_\phi = 50$ м, в соответствии с результатами приведенные выше, включают масштабный параметр по оси скоростей β , т.е. коэффициент возрастания средней скорости с высотой [18-23, 29,30]:

$$\beta = \left(\frac{h_\phi}{h}\right)^m = 5^m = 1.38 \quad (114).$$

Здесь использовано среднегодовое значение $m = 0.2$, однако с соответствии с таблицы 8, для прибрежных районов, к которым относится все Каспийское побережье, следует использовать скорректированное значение коэффициента возрастания скоростей ветра:

$$\beta = 1.25 \quad (115).$$

Таблица 8

Обобщенная расчетная характеристика ветра для Туркменистана. (v – скорость ветра М/с, Cv – результаты расчета параметров распределения Вейбулла)

Название города, поселка	v	s	Cv	g	b	M
Дашогуз	3,1	2,3	0,8	1,27	3,3	9,3
Карабогазгол	6,5	3,7	0,6	1,73	7,4	20,0
Хазар	4,9	2,8	0,6	1,73	5,6	8,5
Туркменабат	3,6	3,1	0,8	1,27	3,9	9,0
Бахардок	3,0	2,6	0,9	1,12	3,1	9,3
Бекибент	3,9	2,7	0,7	1,46	4,3	10,0
Ашхабад	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	5,0
Чаршанга	4,1	4,3	1,0	1,0	4,1	7,8
Илатань	2,4	2,2	0,9	1,12	2,5	9,3
Серхетабат	2,3	2,5	1,1	0,9	2,2	6,8

Таким образом, значения параметров c_ϕ и k_ϕ распределения Вейбулла для скоростей ветра на высоте $h_\phi = 50$ м принимаются равными:

$$c_\phi = c \beta = 10.46 \cdot 1.25 \text{ м/с} = 13.08 \text{ м/с},$$

$$k_\phi = k = 1.8 \quad (116).$$

Расчет удельной мощности и удельной энергии ветрового потока. При использовании экспериментальных повторяемостей скоростей t_i на высоте 10 м средняя удельная мощность потока ветровой энергии $\langle P \rangle$, Вт/м², на высоте 50 м оказывается равной:

$$\langle P \rangle = \sum_{i=1}^n P(v_i) \cdot t_i =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n (v_i \cdot \beta)^3 \cdot t_i = 2082.2 \text{ Вт/м}^2 \quad (117).$$

Здесь принято значение $\rho = 1.226$ кг/м³ для плотности воздуха в нормальных условиях при давлении 760 мм рт. ст. и температуре 15°C.

При использовании распределения Вейбулла для скоростей ветра на высоте 50 м математическое ожидание мощности определяется выражением:

$$M[P] = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \int_0^{\infty} (v \cdot \beta)^3 \cdot f(v) dv =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (c \cdot \beta)^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (118),$$

что дает значение $M[P] = 2067.0$ Вт/м².

Отличие от значения (117) составляет всего 0.7%. Это подтверждает высокую адекватность аналитической функции распределения.

Средняя годовая удельная энергия ветра E_B равна

$$E_B = \langle P \rangle T = 18.240 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{год}) \quad (119),$$

где $T = 8760$ ч/год.

Эмпирическая повторяемость скорости ветра. В Туркменистане до настоящего времени оценка возможности использования энергии ветра основывалась на исследованиях крупномасштабного территориального распределения скорости и удельной мощности ветрового потока [4,5,6], по данным наблюдений за скоростью ветра на сети метеостанции (МС) [2]. На основе полученных данных были выделены районы

МС наиболее перспективные с точки зрения практического использования энергии ветра.

В результате математической обработки фактического материалов по 72 МС Туркменистана были вычислены статистические характеристики эмпирических распределений скорости ветра и по ним найдены уравнения 3-х типовых режимов повторяемости скорости ветра:

Режим повторяемости скорости ветра, характерный для побережья Каспийского моря (Хазар, Карабогазгол) может быть представлен зависимости в промилях (%):

$$t_i = 1571 \frac{\Delta g}{g} \cdot \frac{g_i}{g} e^{-0.75 \left(\frac{g_i}{g}\right)^{2.0}} \quad (120);$$

Режим повторяемости скорости ветра на равнинной территории пустыни Каракумы:

$$t_i = 1258 \frac{\Delta g}{g} \cdot \left(\frac{g_i}{g}\right)^{0.45} e^{-0.87 \left(\frac{g_i}{g}\right)^{1.45}} \quad (121);$$

Режим повторяемости скорости ветра в юго-восточной части Туркменистана (Бадхыза, верховьях Амударьи):

$$t_i = 1017 \frac{\Delta g}{g} \cdot \left(\frac{g_i}{g}\right)^{0.03} e^{-0.99 \left(\frac{g_i}{g}\right)^{1.03}} \quad (122);$$

Из уравнения (1-3) для всех трех типов вычислены повторяемости для g от 2,0 до 8,0 м/с через 0,2 м/с и получены значения в целых промилях для каждой скорости ветра g_i от 0 до 25 м/с.

5. Экологический потенциал Туркменистана

Экологические выгоды от внедрения ветроэнергетической установки. В представленных выражениях, определяющих экономическую эффективность, не учитывается влияние вводимых установок на окружающую природу, на социальные условия жизни и деятельности человека, что в целом определяется как экологические условия. Возобновляемые источники энергии по сравнению с традиционными обладают важными преимуществами, заключенным в возможности обеспечения экологической чистоты вводимых установок, а в некоторых случаях – возможности улучшения экологической обстановки.

Одной из форм учета влияния вводимых источников энергии на экологию региона может быть введение в удельную стоимость получаемой энергии регионального эколо-

гического фактора источника, учитывающего относительные расходы на компенсацию вредных последствий ввода единицы энергии того или иного источника в регионе. Если удельная стоимость источника энергии в производстве, то удельная стоимость с учетом коэффициент регионального экологического фактора, причем коэффициент регионального экологического фактора > 1 для источника, приводящего к ухудшению экологической обстановки в регионе, и коэффициент регионального экологического фактора < 1 – для источника, улучшающего экологическую обстановку в регионе; для одного и того же источника r_3 в различных регионах может изменять величину, становиться больше или меньше единицы [1,3-18].

Как видно из рис. 8. ожидаемые сокращения выбросов различных вредных веществ в окружающую среду в странах СНГ при средней годовой выработке ветровая

энергии 300 Вт/м² с удельной мощностью на 1 кв. м и при эквиваленте расхода топлива – 0,12 Кг/год, то сокращение загрязняющих веществ составит: SO₂ – 2,5 кг/год; NO_x – 1,4 кг/год; CO – 0,2 кг/год; CH₄ – 0,4 кг/год; CO₂ – 191,8 кг/год; твердых веществ – 0,3 кг/год.

Таким образом, с учетом региональных факторов стоимости топлива и регионального экологического фактора срок окупаемости и экономический эффект использования ветроэлектрической установки в общем случае определяются включением коэффициент регионального экологического фактора. На рис. 8 представлены гистограмма, а на таблице 9 экологического потенциала ветроустановки вырабатываемой энергии 100 и более 1000 Вт/м² и возможности сокращения загрязняющих веществ от выработки с одного квадратного метра ветрового потока [21-26].

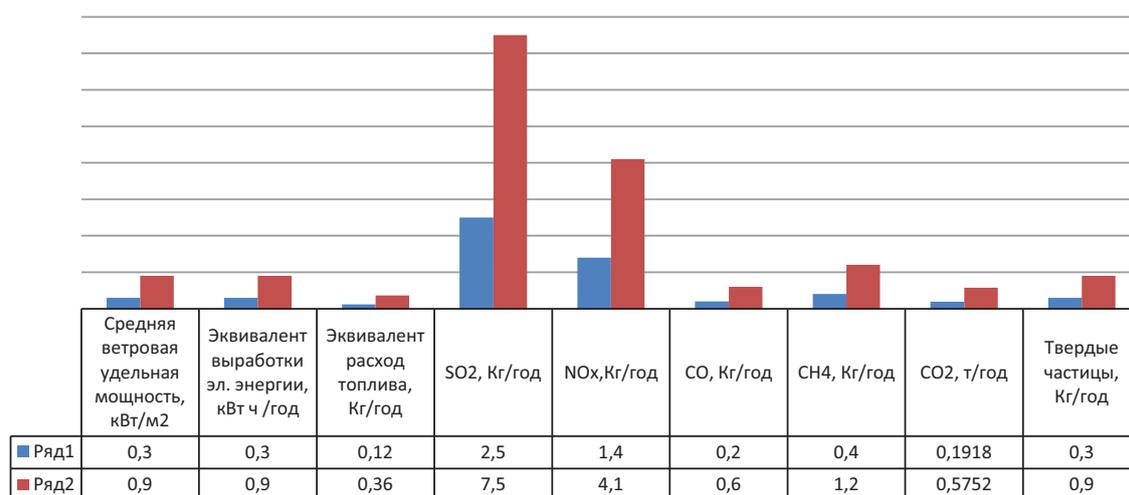


Рис. 8. Гистограмма экологического потенциала выработки ветроэнергии 300 Вт и 900 Вт с 1 м²

Таблица 9

Экологический потенциал от ветроэнергетических ресурсов с квадратного метра

кВт/кв.м	SO ₂ т/год	NO _x т/год	CO т/год	CH ₄ т/год	CO ₂ т/год	Твердые вещества т/год
100	0,000831	0,000448	5,81395E-05	0,000122	0,063953	8,72093E-05
200	0,001663	0,000895	0,000116279	0,000244	0,127907	0,000174419
300	0,002494	0,001343	0,000174419	0,000366	0,19186	0,000261628
400	0,003326	0,001791	0,000232558	0,000488	0,255814	0,000348837
500	0,004157	0,002238	0,000290698	0,00061	0,319767	0,000436047
600	0,004988	0,002686	0,000348837	0,000733	0,383721	0,000523256
700	0,00582	0,003134	0,000406977	0,000855	0,447674	0,000610465
800	0,006651	0,003581	0,000465116	0,000977	0,511628	0,000697674
900	0,007483	0,004029	0,000523256	0,001099	0,575581	0,000784884
1000	0,008314	0,004477	0,000581395	0,001221	0,639535	0,000872093

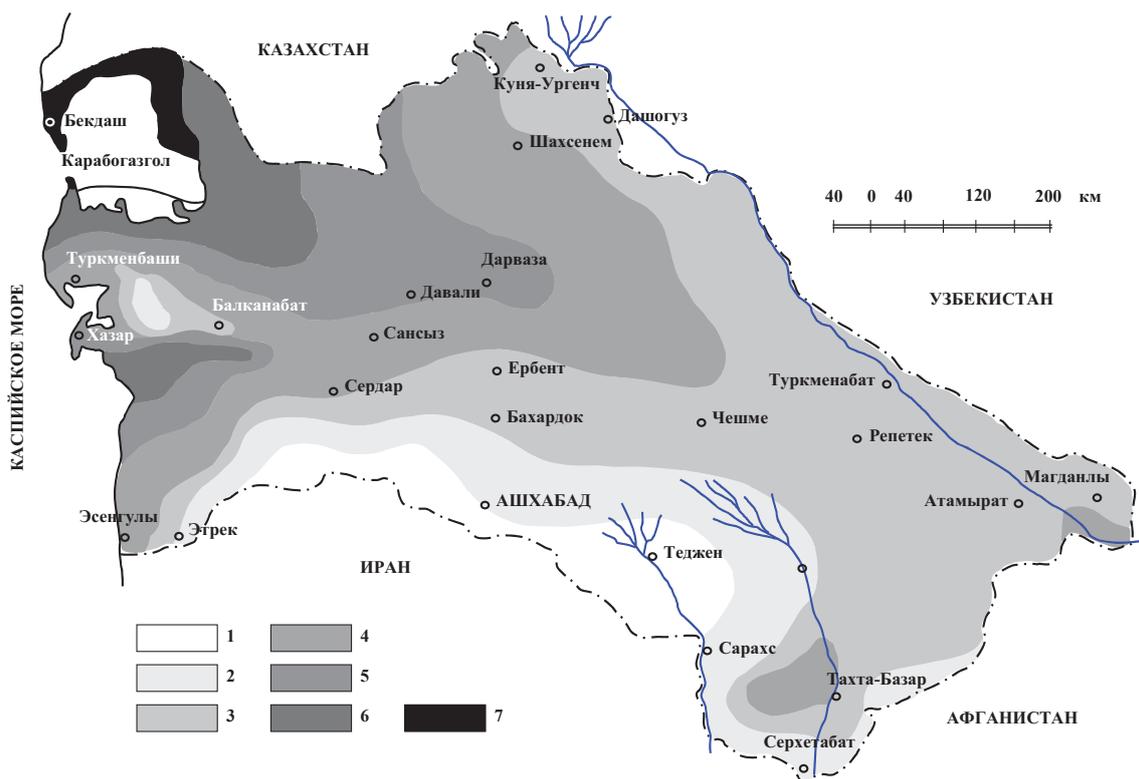


Рис. 9. ГИС экологическая карта сокращения CH_4 и CO_2 от ветроэнергетических ресурсов в Туркменистане с квадратного метра:

- 1 – районы, где энергия воздушного потока с 90%-ной обеспеченностью и сокращения CO_2 составит менее 0,000122 и 0,063953 т / в год;
 2 – от 0,000122 и 0,063953 до 0,000244 и 0,127907; 3 – от 0,000366 и 0,19186 до 0,000488 и 0,255814;
 4 – от 0,000488 и 0,255814 до 0,000733 и 0,383721; 5 – от 0,000733 и 0,383721 до 0,001099 и 0,575581;
 6 – от 0,001099 и 0,575581 до 0,001221 и 0,639535; 7 – более 0,001221 и 0,639535.

ГИС экологическая карта для конечного пользователя. Конечной задачей разработанной ГИС технологии является формирование доброжелательной информационной среды для пользователя наглядная карта.

Информационно-картографическая среда сформировалась в результате созданных баз данных и математических расчетах приведенных на рисунке 6 и модифицируя в процессе опытной эксплуатации в соответствии с уточняющимися требованиями разработана экологическая карта. Учитывая вышеназванное и созданные база данных построена однокомпонентная ГИС экологическая карта сокращения CH_4 и CO_2 от ветроэнергетических ресурсов в Туркменистане с квадратного метра смотрите рисунок 9.

Шумовое воздействие. Воздействие ветроэлектрических установок на окружающую среду и на человека, а также некоторые требования к их размещению и соответствующему отчуждению площади. Зави-

симость уровня шума от расстояния для ветротурбин по данным датской фирмы NQRDTANK и MICON. Для снижения шума в жилых домах ниже критического уровня ~ 40 – 45 дБ отдельная ветроэлектрическая установка должна располагаться от них далее 200м. Практически интересный случай представляет также шумовое воздействие крупных ветроэнергетических систем. Для ветроэлектрической станции мощностью 50 МВт, включающей 100 ветроустановок с единичной мощностью 500 кВт, максимально необходимая площадь размещения составляет около 13 км², а удельная площадь размещения – 260 м²/кВт.

Следует, однако, отметить, что необходимая полоса отчуждения земли по периметру станции при сохранении на больших расстояниях характера зависимости уровня шума и должна иметь ширину более 1 км, т.е. общая отводимая площадь станции превысит 20 км², а удельная площадь – 400 м²/кВт.

Другими важными параметрами технического потенциала являются достижимый технический уровень современных ветроэлектрических установок (по условию – с горизонтальной осью вращения ветротурбины на высоте $h = 50$ м), выражающийся как максимально достижимая мощность в зависимости от скорости ветра, а также порядок размещения ветроэлектрических установок для максимального использования ветрового потока [3-18].

6. Заключение

Стремление человечества к улучшению условий жизни начинает приводить к изменению среды обитания. В то же самое время ответ на вызовы последних десятилетий лежит, что называется, на поверхности. Мы достигли того уровня знаний, когда энергию, столь необходимую для сбалансированного существования и движения вперед, можно добывать без нанесения вреда окружающему нас миру, и использовать с гораздо большей эффективностью, чем это делается сегодня. Говоря языком экономики, человечество может и должно честно и ответственно делить мировой экологический рынок со всеми видами и формами жизни на Земле. Вопросы развития возобновляемых источников энергии актуальны и для Туркменистана, вступившей в стадию модернизации и инновационного роста.

Из научно-аналитического обзора климатологических характеристик ветровой обстановки и теоретических расчетных формул потенциальные ресурсы энергии ветра характеризуется следующими показателями: скорость и сила ветра от 16 Вт/м^2 (скорость – 20 м/с , сила – 10 баллов) до $15\,000 \text{ Вт/м}^2$ (скорость – 30 м/с , сила – 12 баллов). Теоретический на 1 м^2 территории в зависимости от скорости ветра может быть использовано около 57% ветровой энергии, практически не более 33% . Для фонового районирования равнинных территорий по удельной мощности ветрового потока используются данные метеостанций, расположенных в открытой местности на плоских или выпуклых формах рельефа (классы открытости по Милевскому – 6 б и выше, таблица 1. В Туркменистане было отобрано около 72 метеостанций и выведены районы, соответствующие следующим шести диапазонам удельной мощности ветра, Вт/м^2 , на высоте 10 м : 1) <75 , 2) $75-125$, 3) $125-250$, 4) $250-500$, 5) $500-1000$, 6) более 1000 .

Наиболее перспективными для размещения ветроэнергетических установок для страны является побережье морей и участки их шельфов. Так как на шельфах морей удельная мощность ветрового потока достигает более 1000 Вт/м^2 , а на побережьях $500-1000 \text{ Вт/м}^2$, в то время как на удалений от побережий и в глубинных районах страны удельная мощность ветрового потока составляет $100-500 \text{ Вт/м}^2$.

7. Выводы

Из рассмотренных вышеизложенных позиции можно сделать следующие выводы:

1. Предложены методика расчетов ветроресурсов для прогнозирования выбросов парниковых газов в энергетике страны и регионов с использованием динамической территориально-производственной модели оптимизации ТЭК страны, позволяющая: выявить рациональные направления научно-технического прогресса в производстве, преобразовании и использовании энергии и оценить последствия для окружающей среды от их внедрения; определить состав и размеры возможных мероприятий по структурной перестройке энергетике с целью ослабления негативного влияния парниковых газов на окружающую среду; оценить динамику изменения выбросов парниковых газов в энергетике.

2. Составлена ветроэнергетическая карта ветроресурсов, дала предварительную оценку мероприятий по сокращению выбросов в энергетике от использования ветроустановок с одного метра квадратного площади.

3. В соответствии с разработанным ГИС технологий и составленной экологической ветропотенциала картой и методическим подходом получены оценки эколого-экономической эффективности внедрения “новых” проектов по сокращению выбросов CO_2 . Это позволит оценить конкурентоспособность рассмотренных проектов относительно квот в регионе и проранжировать их по степени привлекательности для инвесторов, заинтересованных в получении квот по сокращенным выбросам для экобизнеса.

4. Представленные расчеты, составленная карта экоэнергетических ресурсов использование ветроэнергетических установок на территории Туркменистана будет эффективным, доступным средством энергосбережения и обеспечение экологической безопасности окружающей среды.

5. При средней годовой выработке ветровая энергии 900 Вт/м^2 с удельной мощностью на 1 кв. м и при эквиваленте расхода топлива – $0,36 \text{ Кг/год}$, то сокращение вредных выбросов составит: SO_2 – $7,5 \text{ кг/год}$; NO_x – $4,1 \text{ кг/год}$; CO – $0,6 \text{ кг/год}$; CH_4 – $1,2 \text{ кг/год}$; CO_2 – $575,2 \text{ кг/год}$; твердых веществ – $0,9 \text{ кг/год}$ [1,10,12].

Список литературы

1. Бердымухамедов Г.М. Государственное регулирование социально-экономического развития Туркменистана. Том 1. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2010.
2. Бабаев А.Г. и др. Физическая география Туркменистана: учебное пособие. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2014.
3. Берштейн Л.С., Целых А.Н. Гибридная экспертная система с вычислительным модулем для прогноза экологических ситуаций. Труды международного симпозиума “Интеллектуальные системы – ИнСис – 96”, Москва, 1996.
4. Дьяченко Н.В. Использование ГИС-технологий. – URL: <http://homepage.buryatia.ru/rmeic/gis.htm>
5. Дурдыев А.М., Пенджиев А.М. Снижение энергетической антропогенной нагрузки на климатическую систему Туркменистана с помощью нетрадиционных источников энергии: материалы международного симпозиума по изменению климата. – М., 2003.
6. Колодин М.В. Энергетические ресурсы Каракумов. В кн. Пустыня Каракумы и пустыня Тар. – Ашхабад: Ылым, 1992. – С. 157-171.
7. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблемах окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
8. Козлов В.Б. Энергетика и природа. – М.: Мысль, 1982. – 92 с.
9. Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М., 1998.
10. Нефедова Л.В. Структура базы данных по малой гидроэнергетике в рамках разработки ГИС «Возобновляемые источники энергии России». Труды 6-й между. н/т конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 4. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 314-322.
11. Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю. Геоинформационные системы по возобновляемой энергетике. Труды 6-й между. н/т конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 4. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 314-322.
12. Пенджиев А.М. Геоинформационная технология использования возвратных вод Туркменского озера «Алтын асыр» // Альтернативная энергетика и экология – ISJAE. – 2014. – № 13. – С 129-150.
13. Пенжиев А.М. Изменение климата и возможности уменьшения антропогенных нагрузок: монография. LAMBERT Academic Publishing, 2012.
14. Пенджиев А.М. Экологические проблемы освоения пустынь: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 226 с.
15. Пенджиев А.М. Планирование развития фотоэнергетики в Туркменистане // Экологическое планирование и управление. – 2007. – № 4.
16. Пенджиев А.М. Ожидаемая эколого-экономическая эффективность использования фотоэлектрической станции в пустынной зоне Туркменистана // Альтернативная энергетика и экология – ISJAE. – 2007. – № 5. – С. 135-137.
17. Пенджиев А.М., Пенжиев А.А. Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды и устойчивого развития на основе возобновляемой энергетики в Центральной Азии // Альтернативная энергетика и экология – ISJAE. – 2012. – № 1. С 139-156.
18. Пенджиев А.М. Эффективность использования ветроэлектростанций в Туркменистане // Проблемы освоения пустынь. – Ашхабад, 2004. – №1. – С. 20-25.
19. Пенжиев А.М. Ветроэнергетика ресурсы Туркменистана. – Ашхабад: Стандарт, 2004. – №4. – С. 32-34.
20. Пенджиев А.М. Возобновляемая энергетика и экология (обобщение статей) // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 08 (148). – С. 45-78.
21. Пенджиев А.М. Механизм чистого развития: приоритеты энергоэффективности в Туркменистане // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 10 (78). – С. 142-148.
22. Пенджиев А.М. Перспективы альтернативной энергетики и ее экологический потенциал в Туркменистане // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 9 (77). – С. 131-139.
23. Пенджиев А.М. План действия и стратегия внедрения в возобновляемую энергетику // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 16 (138). – С. 39-60.
24. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане: монография. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012.
25. Струков Д.Р. Проект системы медико-экологического мониторинга окружающей среды на базе ГИС. – URL: www.gisa.ru
26. Смирнов Б.М. Атмосфера Земли и энергетика. – М.: Знание, 1979.
27. Федоров М.П., Романов М.Ф. Математические основы экологии. – СПб.: Издательство СПбГТУ, 1999. – 156 с.
28. Использование солнечной энергии / под ред. профессора Рыбаковой Л.Е. – Ашхабад: Ылым, 1985.
29. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы. – Л.: Гидрометиздат, 1989.
30. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России. – М.: Наука, 2003.
31. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. – М.: Энергоиздат, 1990.
32. Первое Национальное сообщение по рамочной конвенции ООН об изменении климата. Фаза 2. Нарращивание потенциала в приоритетных областях экономики Туркменистана в связи с изменением климата. Проект GF/2328-2724-4313 ЮНЕП / ГЭФ Туркменистан. – Ашхабад, 2006.
33. Национальный план действий по охране окружающей среды. – Ашхабад, 2002.
34. Устойчивое развитие Туркменистана (РПО + 10). – Ашхабад, 2002.
35. URL: <http://www.gis.su>

УДК 621.383; 621.472(575.4)

НАУЧНЫЙ ОБЗОР: ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В РАЗВИТИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ТУРКМЕНИСТАНА

Пенджиёв А.М.

*Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, Ашхабад,
e-mail: ampenjiev@rambler.ru*

В статье рассматривается научный обзор геоинформационные системы (ГИС) и создание геоинформационных технологий (ГИТ), которые позволяют оперативно и подробно анализировать на основе имеющейся географически привязанной информации различные альтернативные варианты для проведения оценки последствий вариантов проектирования установок, в той или иной области солнечной энергетики с целью обеспечения устойчивого развития региона. В основном это относится к энергетическим объектам и системам, использующие солнечные энергетические источники, с их высокой пространственной и временной неравномерностью и изменчивостью. В соответствии со стоящими задачами, определяющими необходимые расчетные параметры, и встают требования к исходной физико-географической, природно-климатической, метеорологической, солнечные энергетические ресурсы и информации энерго-экопотенциала, необходимой для создания базы данных ГИС. Оценки солнечных энергоресурсов и его распределения по территории затруднено ограниченностью объема энергопотенциала по времени и в пространстве. С помощью ГИС можно решить энергетические, экономические, экологические, социальные вопросы и возможности смягчения изменения климата на основе солнечных энергетических установок, и их ресурсы, экологические выгоды, цели и задачи на научно-методических основах в области солнечной энергетики для реализации государственных программ Туркменистана энергообеспечения региона. На основе ГИС технологий составлена база данных, выведены эмпирические формулы солнечных энергетических ресурсов и экологических потенциалов по областям Туркменистана.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, солнечная энергетика, геоинформационные системы, технологический, валовый, технический, экономический, экологический потенциал, экоэнергетика, экология, экобизнес, Туркменистан.

THE SCIENTIFIC REVIEW: GEOINFORMATION SYSTEMS IN DEVELOPMENT OF SOLAR POWER OF TURKMENISTAN

Penjijev A.M.

*Turkmen State Institute of Architecture and Construction, Ashabad,
e-mail: ampenjiev@rambler.ru*

In article the scientific review geoinformation systems (GIS) and creation geoinformation technologies (GIT) which allow operatively and to analyze in detail on the basis of the available geographically adhered information various alternative variants for carrying out of an estimation of consequences of variants of designing of installations, in this or that area of solar power c the purposes of maintenance of a sustainable development of region is considered. Basically it concerns power objects and the systems, using solar power sources, with their high spatial both time non-uniformity and variability. According to the standing problems defining necessary settlement parameters, also there are requirements to initial fiziko-geographical, prirodno-climatic, metrological, solar power resources and information energo-ekopotentsiala, database GIS necessary for creation. Estimations of solar power resources and its distribution on territory it is complicated by limitation of volume energy potential on time and in space. By means of GIS it is possible to solve power, economic, ecological, social questions and possibilities of softening of change of a climate on the basis of solar power installations, and their resources, ecological benefits, the purposes and problems on scientifically-methodical bases in the field of solar power for realisation of government programs of Turkmenistan of power supply of region. On the basis of GIS technologies the database is made, empirical formulas of solar power resources and ecological potentials on areas of Turkmenistan are deduced.

Keywords: renewable energy, solar energy, geo-information systems, technology, gross, technical, economic, ecological potential, ekoenergetika, ecology, ekobiznes, Turkmenistan.

1. Введение

Актуальность проблемы. В своем обращении Президента Туркменистана Гурбангулы Бердмухамедова к участникам Международной научной конференции «Инновационные технологии в использовании возобновляемых источников энергии» в декабре 2014 года сказал: «Туркменистан – государство, обладающее огромными запасами наземных и подземных богатств, углеводородных и горно-минеральных ресурсов, богатое на солнечную энергию и пустынный песок, имеющий в своем составе

кремний. Наша главная задача – рациональное использование этих богатств, сохранение их для будущих поколений, производство из песка Каракумов и экспорт на мировые рынки кремния, являющегося базовым химическим элементом для создания оборудования, позволяющего получать экологически чистую электроэнергию.

Внедрение в производство возобновляемых источников энергии даст возможность находить научные решения, связанные с главными вопросами современной жизни человечества, – изменением климата на

Земном шаре, благоприятной экологией, обеспечением энергетической безопасности в мире. Мы относимся к этим вопросам, как к приоритетным направлениям внутренней и внешней политики нашей страны. В настоящее время наша страна в качестве крупной энергетической державы направляет свои природные богатства, энергетические ресурсы и экономический потенциал на обеспечение национального, регионального и мирового развития, поддержку и укрепление мира и безопасности на Земле.

Высокие темпы развития мировой экономики в XXI веке неразрывно связаны с потреблением энергоресурсов, достижениями науки, научными идеями и решениями, опирающимися на кардинально новую технику и технологии. Исходя из этого, устойчивое развитие экономики нашей страны связано с экспортом энергоресурсов на мировые рынки, широким внедрением в нефтегазовую, химическую, энергетическую, промышленную и другие отрасли энерго- и ресурсосберегающих, экологически чистых и безопасных инновационных технологий. В качестве одного из важных приоритетных направлений государственной политики мы уделяем особое внимание разработке и реализации научно-технических и инновационных программ, направленных на эффективное использование таких возобновляемых источников энергии, как солнце, ветер, вода, биогаз» [Газета «Нейтральный Туркменистан» 3.12.2014 г.].

Исходя из поставленных приоритетных задач одной из основ, это создание информационной базы, обеспечивающей становление и развитие такой инновационной отрасли, как возобновляемая энергетика, являются геоинформационная система о возобновляемых источниках энергии. Во многих развитых странах, уделяющих большое внимание развитию возобновляемой энергетике, проведены подобные работы, но в Туркменистане пока этот вопрос не рассматривался, и поэтому автором сделаны первые шаги в этом направлении.

Исходя из этого, в некоторых странах, признанные в мировом лидере применения технологий использования ВИЭ, темпы их развития многократно увеличились после использования ГИС возобновляемых источников энергии в системе энергоснабжения.

Из выше сказанного автор подготовил статью, конечно, он осознает, что при написании статьи не все задуманное удалось ре-

ализовать в полном объеме. Он прекрасно понимает, что он делает первые шаги в этом направлении, поэтому имеется недостаток как в теоретическом плане, так в практической и прикладной части. Но тем не менее вопрос использования ГИС технологий в области применения солнечной энергетике для смягчений антропогенных нагрузок на окружающую среду с помощью возобновляемых источников энергии стоит, а на вопрос изменение климата уже нужно принимать меры сейчас. Используемые материалы и методика подхода могут быть полезны для применения их не только в Туркменистане, но и в других странах мира.

Цель статьи. На основе научного обзора разработать с использованием информационных технологий рассчитать и с помощью геоинформационного моделирования решить задачи, оценки пространственного распределения возобновляемых энергоресурсов Туркменистана и определения пространственного распределения солнечных энергетических ресурсов на территории страны.

Предметом исследования являются теоретические расчеты, методологические основы, разработки и применения геоинформационных технологий для построения и составления пространственного распределения солнечных энергоресурсов, а также определения экологического потенциала от использования солнечных установок на территориях Туркменистана.

Научная новизна. Предложены принципы построения новой ГИС технологии для решения задач комплексной оценки возобновляемых энергоресурсов в частности солнечных энергоресурсов и экологического потенциала на территории Туркменистана. Впервые с применением геоинформационных технологий построены: энергетическая и экологическая расчетная составляющая потенциала солнечных ресурсов и их технические, экономические, экологические доступность для электроснабжения отдаленные районов страны.

2. Геоинформационные системы и технологии

Геоинформационная система (ГИС) – это многофункциональная информационная система, предназначенная для сбора, обработки, моделирования и анализа пространственных данных, их отображения и использования при решении расчетных за-

дач, подготовке и принятии решений. Основное назначение ГИС заключается в формировании знаний о Земле, отдельных территориях, географической местности, а также своевременном доведении необходимых и достаточных пространственных данных до пользователей с целью достижения наибольшей эффективности их работы.

Геоинформационные технологии (ГИТ) – это информационные технологии обработки географически организованной информации.

Основной особенностью ГИС, определяющей ее преимущества в сравнении с другими автоматизированными информационными системами (АИС), является наличие геоинформационной основы, т.е. цифровых карт (ЦК), дающих необходимую информацию о земной поверхности. При этом ЦК должны обеспечивать:

- точную привязку, систематизацию, отбор и интеграцию всей поступающей и хранимой информации (единое адресное пространство);
- комплексность и наглядность информации для принятия решений;
- возможность динамического моделирования процессов и явлений;
- возможность автоматизированного решения задач, связанных с анализом особенностей территории;
- возможность оперативного анализа ситуации в экстренных случаях.

Сущность ГИТ проявляется в ее способности связывать с картографическими (графическими) объектами некоторую описательную (атрибутивную) информацию (в первую очередь алфавитно-цифровую и иную расчетно-графическую, звуковую и видеоинформацию). Как правило, алфавитно-цифровая информация организуется в виде таблиц реляционной базы данных (БД). В простейшем случае каждому графическому объекту (точечному, линейному или площадному) ставится в соответствие строка таблицы – запись в БД. Использование такой связи и обеспечивает богатые функциональные возможности ГИТ. Эти возможности, естественно, различаются у разных систем, но есть базовый набор функций, обычно имеющийся в любой реализации ГИТ, например, возможность ответа на вопросы «что это?» указанием объекта на карте и «где это находится?» выделением на карте объектов, отобранных по некоторому условию в БД. К базовым можно также от-

нести ответ на вопрос «что рядом?» и его различные модификации. Исторически первое и наиболее универсальное использование ГИТ – это информационно-поисковые, справочные системы, определения возобновляемых энергетических данных и так далее.

Таким образом, ГИТ можно рассматривать как некое расширение технологии БД для координатной привязанной информации. Но даже в этом смысле она представляет собой новый способ интеграции и структурирования информации. Это обусловлено тем, что в реальном мире большая часть информации относится к объектам, для которых важную роль играет их пространственное положение, форма и взаиморасположение. Следовательно, ГИТ во многих приложениях значительно расширяют возможности обычных энергетических установок или станции на основе ВИЭ.

В настоящий момент за рубежом имеется достаточно успешный опыт использования ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики. Энергетические компании широко используют геоинформационные системы для разработки проектов. В частности, недавно осуществленный выбор подходящего участка для размещения комплекса ВЭС на континентальном шельфе Нидерландов был проведен с использованием локальной ГИС. Она позволила интегрировать и в комплексе проанализировать многие лимитирующие факторы проекта, такие как пути и интенсивность судоходства, территории разработки нефтяных месторождений и пути прокладки нефтепроводов, маршруты миграции птиц, ограничения со стороны военных ведомств и т.д. При оценках учитывалось влияние каждого из этих факторов, что обеспечило детальный анализ пригодности и экологической чувствительности того или иного участка в процессе выбора мест для строительства энергетических объектов.

Рассмотренные в ходе исследования научный обзор зарубежных авторов по геоинформационным ресурсам по ВЭ можно подразделить по охвату территории на: локальные; региональные; национальные; глобальные выгоды.

По направленности ГИС можно выделить однокомпонентные ГИС (рассматривается только один из ВИЭ: солнце, или ветер, или биомасса и т.п.) и многокомпонентные или комбинированные (включающие в себя несколько ВИЭ).

По типу информации, включаемой в основу ГИС ВИЭ, и используемой для оценки целесообразности и выгодности проектов по солнечной энергетике можно выделить:

- Данные для оценки солнечных энергетических ресурсов (комплекс метеорологических и актинометрических данных, описание энергетических данных о физических и химических характеристиках установки, предназначение установки, данные по социальной и экологической жизнедеятельности человека, населению и прочие др.);

- Технические характеристики потенциала солнечной установки (для расчетов предполагаемой выработки электрической и тепловой энергии);

- Экономические потенциал (предпосылки цены на энергию от традиционных и нетрадиционных источников с целью сравнения их выгоды, экономия органического топлива);

- Энергетические балансы региона (предприятия, производящие энергоустановки на основе солнечной энергии, инвестиции в данную область, налоговые льготы на использование солнечную станцию или установку, зарплаты работников объектов и т.д.);

- Социальные предпосылки (занятость населения и потенциальные рабочие места от строительства объектов на солнечной энергетической станции, соотношение новых рабочих мест и прогнозируемого объема вырабатываемой энергии, решение социально-бытовых условий, уменьшение негативных факторов, влияющих на здоровье населения за счет снижения вредных выбросов и т.д.);

- Экологические аспекты: величина снижения вредных выбросов при использовании солнечной энергетической станции, снижение загрязнения на окружающую среду, создание экобизнеса для механизма чистого развития (МЧР) (в районах, где использовались различные энергетические и тепловые станции и т.д.) [7-10,12].

В статье основываясь на вышеизложенное, поэтому сделан упор на использования ГИС технологий в солнечной энергетике Туркменистана.

3. Солнечно-энергетические ресурсы Туркменистана

Особенности солнечной энергии. Наиболее перспективной с точки зрения неисчерпаемости, экологической чистоты и распространенности среди возобновляемых

альтернативных источников энергии является солнечная радиация.

Энергия солнца является не только источником света, жизни, тепла, но и основным фактором развития цивилизации. Солнечная энергетика в наши дни – это уже не несбыточная мечта, находящая свое воплощение лишь в научно- фантастической литературе, а реальность, занимающая все больше места в нашей повседневной жизни, деятельности научных институтов, работе промышленных предприятий.

Каждую секунду солнце излучает $88 \cdot 10^{24}$ кал или $370 \cdot 10^{12}$ ГДж теплоты. Из этого количества теплоты на Землю попадает лишь $1,2 \cdot 10^{12}$ Вт (за год 1018 кВтч), что в 10 000 раз больше всей энергии, потребляемой в мире. Киловатт час – это то количество энергии, которое требуется для работы одной лампочки накаливания мощностью 100 Вт в течение 10 часов. Если энергетический потенциал Солнца рассчитывать по количеству солнечной энергии, падающей только на незанятые человеком территории, то и в этом случае среднегодовая мощность составит около 10 000 ГВт, что превышает более, чем в 5000 раз мощность всех существующих на сегодняшний день стационарных электростанций. Лишь одна миллионная часть энергии, излучаемой Солнцем, перехватывается внешними слоями земной атмосферы. Но только 47% этой энергии достигает поверхности Земли, расходуясь на отражение, рассеивание и поглощение различными атмосферными газами и аэрозолями.

Количество энергии, падающей на единицу площади поверхности в единицу времени определяется рядом факторов: широтой местности, климатическими условиями, сезонностью, углом наклона поверхности по отношению к Солнцу, характером местности (наличием загораживающих солнце деталей рельефа, деревьев и т. д.).

Количество солнечной радиации, падающей на поверхность Земли, не отличается равномерностью, вследствие движения Солнца, и неодинаково как в разное время суток, так и в разное время года. Так, например, в полдень, Солнце находится высоко над горизонтом, что приводит к уменьшению пути прохождения солнечного излучения через земную атмосферу (оно движется по прямой) и, соответственно, меньшему поглощению и рассеиванию. Следовательно, в полдень большее количество солнеч-

ного излучения достигает поверхности Земли, чем, если бы это было утром или вечером. А это значит, что эффективность солнечных лучей в течение дня неодинакова и, следовательно, различается и производительность фотоэлектрических систем в разное время суток. Лучи, падающие на солнечные элементы под малым углом, мало пригодны для выработки электроэнергии.

Количество солнечной энергии, падающей на Землю, отличается от среднегодовых значений и по временам года. Так, на севере Европы оно меньше среднегодового значения зимой на $0,8 \text{ кВтч/м}^2$ в день и больше на 4 кВтч/м^2 летом. Меньшей инсоляцией объясняется малая долгота дня и меньшая освещенность зимой. По мере приближения к экватору эти различия сглаживаются.

Количество солнечной энергии зависит и от географической широты местности и оно тем больше, чем местность ближе к экватору. В пустынях Африки, Ближнего Востока и Австралии среднегодовое суммарное солнечное излучение, падающее на горизонтальную поверхность, составляет приблизительно 2200 кВт ч/м^2 , а в Средней Азии, Канаде, Центральной Европе в среднем 1000 кВтч/м^2 .

Поэтому использование энергии солнечного света – это наиболее экологичный и естественный способ получения различных форм столь необходимой нам энергии. Количество солнечной энергии, попадающей на крыши и стены зданий, во многих странах мира значительно превышает потребности в ней жителей этих домов. Остается только использовать эту энергию. Солнечные коллекторы, вырабатывая тепло, способны обеспечить горячей водой и отоплением, а фотоэлектрические установки преобразуют солнечный свет непосредственно в электроэнергию. Солнечные коллекторы и солнечные элементы образуют, так называемые, активные солнечные системы. Напротив, пассивные системы создаются лишь при правильной ориентации зданий по отношению к Солнцу, подбором строительных материалов, позволяющим использовать солнечную энергию максимально эффективно.

Преобразование солнечной энергии в тепло и электричество происходит и косвенным образом при трансформации ее в другие формы энергии: энергию биомассы, приливов, ветра и т. д. Погода на Земле на-

прямую зависит от Солнца. Солнечное излучение, поглощаясь водными массами океанов и морей, нагревает их, вызывая испарение, которое затем в виде осадков выпадает на землю. Неравномерное нагревание воздуха в различных областях земного шара приводит к появлению ветра, вращающего лопасти ветроэлектростанций. Еще один возобновляемый источник энергии – биомасса, также образуется, благодаря энергии Солнца. Органические вещества в растениях, необходимые для производства тепловой и электрической энергии, появляются в результате фотосинтеза. Полезные ископаемые: уголь, нефть и газ – это тоже производные солнечной энергии.

Даже активные солнечные системы, такие, как солнечные коллекторы и фотоэлектрические батареи, необходимо правильно ориентировать по отношению к Солнцу, чтобы получить наибольший эффект от их использования.

Понятно, что любое солнечное оборудование лучше устанавливать на южной стороне здания. Важен и угол наклона. Стационарные солнечные батареи без системы слежения максимальное количество солнечной радиации в течение года получают, при их расположении под углом наклона относительно уровня горизонта, равным географической широте местности, в которой расположено здание. Поэтому при проектировании зданий, предполагающих использование энергии солнца, необходимо учитывать как угол наклона крыши, так и ориентацию на юг, а также расстояние от фотоэлектрических батарей до места потребления, которое должно быть как можно более меньшим, в целях уменьшения энергопотерь.

Как отмечал в своих научных трудах, наибольшая эффективность солнечных батарей достигается при их ориентации по направлению к Солнцу и перпендикулярном расположении световоспринимающей поверхности по отношению к солнечным лучам. Как правило, солнечные батареи, используемые для электроснабжения зданий, размещают либо на крыше (наиболее распространенный вариант), либо на специальных поддерживающих кронштейнах в строго фиксированном положении, не позволяющем поворачиваться вслед за Солнцем. При таком расположении не обеспечивается оптимальный угол наклона (прямой угол), позволяющий использовать солнечное излучение с максимальной эффектив-

ностью. В зимний период солнечные лучи падают на земную поверхность под другим углом, нежели летом. Поэтому, желательно в летний период располагать солнечные панели в более горизонтальном положении, чем зимой. Зимой же угол наклона должен быть, соответственно, большим. Если же отсутствует возможность дважды в течение года менять угол наклона батарей, то выбирается некое оптимальное значение угла наклона, приемлемое для любого времени года (посередине между оптимальными летним и зимним углами наклона). Лишь при расположении в экваториальной местности панели должны располагаться строго горизонтально. Для весны и осени оптимальный угол наклона обычно выбирается равным географической широте местности. Для зимнего периода это значение увеличивают на 10-15 градусов, а для лета, наоборот, уменьшают на ту же величину. При небольших (до 5 градусов) отклонениях от оптимального значения угла наклона эффективность солнечных электросистем меняется незначительно. Гораздо большее влияние на вырабатываемую мощность оказывают погодные условия.

При проектировании автономных систем следует учитывать месячный график нагрузки, т. е. оптимальный угол наклона следует подбирать конкретно для определенного месяца. Вообще, следует подходить индивидуально к условиям конкретного заказчика. Так, например, при наличии затенения с восточной стороны, целесообразнее будет поменять ориентацию солнечных батарей с южного направления на юго-западное.

При установке устройства слежения за Солнцем (трекера), можно получить значительную прибавку к производимой мощности. Слежение по азимуту прибавит 20%, а дополнительное слежение по высоте – еще 10% к генерируемой мощности электроэнергии. Солнечные батареи при этом монтируются на подвижной платформе, поворачивающейся вслед за Солнцем. Обычно установка систем автоматического слежения для автономных систем оказывается нецелесообразной, поскольку требует значительных затрат, как на монтаж, так и на последующее техобслуживание.

Территория Туркменистана имеет благоприятные климатические условия для использования солнечной энергии. Технический потенциал низкопотенциальной энер-

гии Солнца на территории Туркменистана, выраженный в тоннах условного топлива эквивалентен $1,4 \cdot 10^9$ т.у. в год или примерно $4 \cdot 10^{15}$ кДж. Продолжительность солнечного излучения составляет в среднем 2000-3000 часов в год. Количество солнечной энергии в самом солнечном месяце года – июле, приходящееся на 1 кв. метр горизонтальной поверхности, находится в диапазоне от 6,4 до 7,5 кВтчас в день. Использование солнечной энергии в данных районах может иметь важное хозяйственное значение.

При анализе для создания базы данных, расчетов и использования ГИС технологий, исходили из выше приведенных особенностей солнечной энергии.

Солнечная радиация и солнечное сияние. Данные по солнечной радиации и радиационному балансу приводятся на основе материалов актинометрических наблюдений метеорологических станций.

В комплекс актинометрических наблюдений входят измерения прямой и рассеянной радиации, приходящей к земной (деятельной) поверхности, отраженной радиации от земной поверхности и радиационного баланса земной поверхности. Деятельной поверхностью называют поверхность почвы, воды или растительности, непосредственно поглощающую солнечную и атмосферную радиацию и отдающую излучение в атмосферу [11,-13,18-21,23-25,35-37,48].

Солнечная радиация, поступающая на деятельную поверхность в виде пучка параллельных лучей, исходящих непосредственно от диска солнца, называется *прямой солнечной радиацией*. На актинометрических станциях измеряется прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную к солнечным лучам поверхность, S .

Количество солнечной радиации, приходящее на горизонтальную поверхность, S' , зависит от высоты солнца над горизонтом и может быть получено из соотношения

$$S' = S \sin h_0, \quad (1)$$

где h_0 – высота солнца над горизонтом.

Проходя через атмосферу, солнечная радиация частично рассеивается молекулами газов воздуха, твердыми и жидкими частичками, взвешенными в воздухе, облаками. Часть солнечной радиации, поступающей на земную поверхность со всех точек небесного свода после рассеяния в атмосфере, называется *рассеянной радиацией D*. На актинометрических станциях измеряется рас-

сеянная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность.

Прямая солнечная радиация и рассеянная радиация относятся к коротковолновой части спектра (с длинами волн от 0,17 до 4 мк, фактически земной поверхности достигают лучи с длиной волны от 0,29 мк).

Общий приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность, состоящий из прямой и рассеянной радиации, называется *суммарной радиацией* Q

$$Q = S' + D. \quad (2)$$

На земной поверхности происходит перераспределение поступающей солнечной радиации: часть ее отражается от земной поверхности в атмосферу – *отраженная коротковолновая радиация* R , остальная часть поглощается земной поверхностью – *поглощенная коротковолновая радиация* B_k .

$$B_k = Q - R. \quad (3)$$

Количество отраженной радиации зависит от свойств деятельной поверхности (цвета, увлажненности, структуры и т. п.).

Величина, характеризующая отражательную способность поверхности, или *альбедо поверхности* A , определяется отношением отраженной от поверхности радиации к поступающей на данную поверхность суммарной радиации и обычно выражается в процентах

$$A = R / Q \times 100 \quad (4).$$

Наряду с коротковолновой радиацией к земной поверхности поступает длинноволновое излучение атмосферы (встречное излучение) E_a , в свою очередь земная поверхность излучает длинноволновую радиацию соответственно своей температуре (собственное излучение) E_3 (99% излучения земли и атмосферы имеют длины волн от 4 до 40 ж/с).

Разность собственного излучения земной поверхности и атмосферы называется *эффективным излучением* $E_{эф}$. Встречное излучение обычно меньше собственного и поэтому поток эффективного излучения направлен вверх (от земной поверхности).

В каждый момент времени на земной поверхности осуществляется приход расход лучистой энергии. Алгебраическая сумма приходных и расходных составляющих радиации называется *радиационным балансом* B , уравнение которого записывается в виде:

$$B = S' + D + E_a - R - E_3 \quad (5)$$

или

$$B = Q - R - E_{эф}, \quad (6).$$

В зависимости от соотношения приходо-расходных составляющих знак радиационного баланса бывает положительный (если поверхность земли поглощает больше радиации, чем отдает, поток направлен к земле) и отрицательным (если поверхность земли поглощает радиации меньше, чем отдает, поток направлен от земли).

Превышение притока радиации над отдачей, или наоборот, уравнивается потоком тепла через деятельную поверхность, из деятельного слоя в атмосферу или обратно, путем теплопроводности, а также при испарении и конденсации водяного пара [13-19, 23-25, 35-37, 74, 82, 94, 97, 98].

Радиационный баланс деятельной поверхности является ведущим компонентом теплового баланса, он определяет величину и знак потоков тепла в воздух и почву, точный ход испарения и конденсации.

Величина радиационного баланса может быть определена либо как сумма составляющих, каждая из которых измерена отдельно, либо непосредственно измерена прибором, как это принято при актинометрических наблюдениях.

В метеорологии принято выражать лучистую энергию в тепловых единицах на единицу площади за единицу времени: интенсивность радиации в радиации в $кал/см^2/мин$, суммы радиации в $кал/см^2$ за час, сутки, месяц или год.

Измерения солнечной радиации на станциях производятся шесть раз в сутки в сроки: 0 ч. 30 м., 6 ч. 30 м., 9 ч. 30 м., 12 ч. 30 м., 15 ч. 30 м., 18 ч. 30 м. по среднему солнечному времени. Кроме того, на ряде станций производится непрерывная регистрация самопишущими приборами суточного хода радиации.

Для измерения солнечной радиации используются приборы, приемной частью которых являются термоэлементы. При облучении приемной поверхности прибора солнечной радиацией в термоэлементах возникает электрический ток, который фиксируется гальванометром при срочных наблюдениях или гальванографом при регистрации радиации.

Прямая радиация измеряется термоэлектрическим актинометром (АТ-50), рассеянная, отраженная и суммарная радиации

– термоэлектрическим пиранометром (П 3Х3), радиационный баланс – термоэлектрическим балансомером (М-10). Описание приборов, методика наблюдений и обработки изложены в Руководствах [13,36,98,108,117].

Применяемые для измерения радиации приборы, поверяются непосредственно или через вторичные эталоны с Всесоюзным эталоном (пиргелиомерами № 212 и № 250), хранящимся в ГГО. Все публикуемые в Справочнике данные приведены к Международной пиргелиометрической шкале 1956 г.

В данном разделе описываются значения интенсивности в сроки наблюдений, месячные и годовые суммы коротковолновой радиации и радиационного баланса, а при наличии самописцев и часовые суммы².

Для таблиц Справочника использованы материалы станций, период наблюдений которых составлял не менее 4–5 лет. В малоосвещенных актинометрическими наблюдениями районах при описании радиационного режима использовались наблюдения станций с более короткими рядами.

Использованы справочные данные получены непосредственным подсчетом за имеющийся период актинометрических наблюдений. В таблицах приведены ряд станций коротковолновая радиация приведена к периоду большей длительности косвенным методом по графикам связи сумм радиации с продолжительностью солнечного сияния, радиационный баланс приведен к периоду большей длительности по графикам связи с поглощенной радиацией для Юго-Восточного Туркменистана. Связь между указанными элементами можно считать с достаточной степенью точности линейной. Приведение считалось целесообразным при коэффициенте корреляции более 0,50.

Месячные суммы радиации, приведенные к длительному периоду, в большей степени характеризуют многолетний режим по сравнению со средними из коротких рядов. Последнее очень важно при учете закономерностей изменения климата и дает возможность сопоставлять элементы радиационного режима с другими метеорологическими характеристиками, и в первую очередь с продолжительностью солнечного сияния.

При использовании характеристик, полученных из небольших рядов без приведения (5–7 лет). Следует учитывать, что они могут отличаться от средних многолетних (при периоде усреднения 30 лет и более)

для месячных сумм суммарной радиации – на 10–13%, для прямой солнечной радиации – на 20% (иногда и более).

Публикуемые величины по приходящей солнечной радиации (прямой, рассеянной и суммарной) практически могут быть распространены на близлежащие окрестности в радиусе 50–100 км примерно. При тех же условиях прозрачности атмосферы и на любые горизонтальные поверхности, находящиеся в данном пункте в первом полукилометровом слое атмосферы. С высотой прямая и суммарная радиации увеличиваются.

В зависимости от микроклиматических особенностей местности данные по поглощенной, отраженной радиации и радиационному балансу деятельной поверхности могут существенно изменяться даже в одном и том же пункте.

Естественные поверхности обладают различной отражательной способностью. Так, темные поверхности имеют низкие значения альбедо – около 15% (черные пески, болотно-луговые почвы). Светлые поверхности обладают большим альбедо – 35–40% (белый песок). Альбедо поверхностей с травяным покровом колеблется в пределах 15–25%. Альбедо крон лиственного леса летом 14–17%. Альбедо водных поверхностей заключается в пределах от 3 до 45% в зависимости от высоты солнца и степени волнения. Наибольшей отражательной способностью обладает свежеснежный снег, его альбедо равно 85–90%.

В прямой зависимости от альбедо находится отраженная и поглощенная радиация, последняя в значительной мере определяет величину радиационного баланса. Приводимые в Справочнике значения альбедо относятся к деятельной поверхности (естественной) метеорологической площадки, на которой производятся наблюдения. Это следует учитывать при использовании характеристик, измеренных на метеорологической площадке, и при распространении их на другие поверхности [13-18,35-37].

Территория Туркменистана имеет разнообразные поверхности, как в равнинных, так и в высокогорных районах. Альбедо наиболее распространенных поверхностей приводится в таблице 15.

Солнечная радиация, поступающая на наклонные и вертикальные поверхности. По данным прямой солнечной радиации, публикуемым в Справочнике, можно рассчитать величину радиации, поступающую

на вертикальные (стены) и наклонные (склоны) поверхности любой ориентации, используя формулы:

$$S_B = S \cos h_0 \cos (A_0 - A); \quad (7)$$

$$S_{СКЛ} = S_B \sin a + S' \cos a, \quad (8),$$

где S_B – прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность, $S_{СКЛ}$ – прямая солнечная радиация, поступающая на наклонную поверхность ($S_{СКЛ}$ и S_B имеют одинаковый азимут), S – прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную к лучам поверхность, S' – прямая солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, h_0 – высота солнца, A_0 – азимут солнца, A – азимут нормали к вертикальной поверхности, a – крутизна склона (угол, который наклонная поверхность составляет с горизонтальной плоскостью) [13-19,35-37].

Для того чтобы получить радиацию, поступающую на стены или склон в $кал/см^2 \cdot мин$, в формулы (7) и (8) нужно подставить значения прямой радиации из табл. 2 и высоту солнца из таблицы 1 (азимут солнца рассчитывается по известным формулам или берется из соответствующих таблиц).

Для оценки месячной (или средней суточной) суммы прямой радиации, поступающей на стену южной ориентации, можно использовать следующие значения коэффициента k , выражающего отношение суммы радиации на южную стену к сумме радиации на горизонтальную поверхность (табл. 1).

Освещенность горизонтальной поверхности. По величинам суммарной и рассеянной радиации при ясном небе, помещенным в Справочнике, можно получить освещенность, используя световой эквивалент, определенный Е.А. Поляковой и О.Д. Бартеневой (ГГО).

Световой эквивалент суммарной радиации для ясного неба приведен в табл. 2. Световой эквивалент рассеянной радиации при ясном небе равняется 80 ± 12 как на $1 кал/см^2 \cdot мин$.

Международная система единиц. Для перехода от употребляемых в настоящем разделе единиц интенсивности – $кал/см^2 \cdot мин$ – и сумм радиации за час, сутки, месяц – $кал/см^2$ и $ккал/см^2$ – к единицам Международной системы – $ватт/м^2$ ($Вт/м^2$) и $джоуль/м^2$ ($дж/м^2$), следует использовать соотношения: $1 кал/см^2 \cdot мин = 698 Вт/м^2 = 0,698 кВт/м^2$; $1 кал/см^2 = 4,19 \cdot 10^4 дж/м^2 = 41,9 кдж/м^2$; $1 ккал/см^2 = 4,19 \cdot 10^7 дж/м^2 = 41,9 Мдж/м^2$.

Характеристика радиационного режима. Солнечная радиация является главным источником тепловой энергии почти для всех природных процессов, развивающихся в атмосфере, гидросфере и в верхних слоях литосферы. Наряду с этим использование солнечной радиации имеет исключительное значение в хозяйственной деятельности человека.

Характеристика радиационного режима в кратком изложении имеет целью дать общее представление о закономерностях пространственного и временного распределения солнечной радиации и радиационного баланса.

Таблица 1

Коэффициенты k

Широта (град.)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
48	3.20	2.00	1.20	0.68	0.40	0.30	0.35	0,54	0.93	1.60	2.60	3.60
44	2.50	1.70	1.03	0.60	0.33	0.24	0.28	0.47	0.80	1.45	2.20	2.80
40	2.15	1.50	0.92	0.51	0.28	0.19	0.23	0.3Э	0.71	1.20	1.85	2.40
37	1.97	1.37	0.85	0.45	0.24	0.16	0.19	0.34	0.65	1.14	1.71	2.13

Таблица 2

Световой эквивалент суммарной радиации для ясного неба (в килолюксах на $1 кал/см^2 \cdot мин$),

Высота солнца (град.)							
10	20	30	40	50	60	70	75
62 ± 5	66 ± 5	68 ± 4	70 ± 3	71 ± 3	71 ± 3	72 ± 2	72 ± 2

Общей площадью Туркменистана составляет 491,2 тыс. км². Туркменистан расположена в зоне пустынь умеренного пояса. По рельефу она может быть разделена на горную и равнинную части. Равнинная часть делится на низменные равнины и возвышенные равнины. Низменные равнины занимают 80% территории страны. Сюда входят Центральные, или Низменные, Каракумы, Сарыкамышская котловина и Прикаспийская низменность, расположенные ниже уровня моря. К возвышенным равнинам относятся Красноводское плато, на западе страны южные оконечности плато Устюрт, на севере – Заунгузское плато, или Заунгузские Каракумы.

Горная система Копет-Даг занимает незначительную часть территории страны и имеет высоту до 3000 м только в пограничной зоне; в средней и северной частях высота гор не превышает соответственно 2000 и 1000 м. Для Центральных Каракумов характерны грядово-бугристые пески, переходящие в широкую область такыров у предгорий Копет-Дага.

Заунгузские Каракумы – пространства желтых барханных песков на разноцветных песчаниках и глинах. Это наиболее бесплодная часть Каракумов [11,12,13,18-23].

Прикаспийская низменность расположена между западными отрогами Копет-Дага, южной окраиной Туркменбашинского плато и Каспийским морем. Поверхность ее занята обширными такырами, солончаками и песчаными массивами,

Большая часть Туркмении (северная и центральная) лишена постоянных вод. Речная сеть развита слабо, реки принадлежат к бессточным бассейнам.

Подстилающая поверхность на территории Туркмении представлена в основном песчаными массивами, такырами, солончаками. Почвы – сероземы, серобурые пустынные, в долинах рек лугово-сероземные и аллювиально-луговые. В долинах расположены оазисы с культурно-ирригационными почвами.

На большей части территории Туркмении преобладает пустынная растительность. В глинистых пустынях господствуют эфемероиды. На солончаковых почвах распространены различные виды солянок. В долинах крупных рек распространены тугай. В предгорьях распространены эфемероиды, в высоких предгорьях – пырейно-разнотравная степь.

Актинометрическая сеть распределена по республике редко, в среднем каждая станция освещает район площадью 7 тыс. км².

Радиационный режим Заунгузских Каракумов характеризует ст. Ак-Молла. Станция расположена среди грядовых и барханных песков, чередующихся с солончаковой почвой и такырами. Подстилающая поверхность на актинометрической площадке меняется в зависимости от цвета наносного песка. В районе станции имеются кустарники саксаула и пустынная растительность.

Радиационный режим Центральных (Низменных) Каракумов характеризует станция Ясхан, расположенная в древнем русле Узбоя на берегу пресного озера. Ширина русла 2,5–3 км, берега русла песчаные крутые, достигающие высоты 20–25 м. Почва на актинометрической площадке песчаная пустынной растительностью.

Радиационный режим низменности характеризуют станции Кара-Богаз-Гол и Гасан-Кули. Станция Кара-Богаз-Гол расположена на правом берегу залива Кара-Богаз-Гол Каспийского моря. Площадка расположена в 80 м от залива в характерном для окружающего района месте (поверхность площадки – песчаная пустыня). Станция Гасан-Кули расположена в песчаной пустыне на расстоянии 20 км от Каспийского моря. Подстилающая поверхность на обеих станциях песчаная с примесью солончака и ракушечника. Цвет ее меняется в зависимости от соотношения песка и ракушечника, в окрестности станции имеется пустынная растительность. На станциях часто наблюдаются помутнения атмосферы, вызываемые пыльными бурями, мглой, туманами, дымками.

Радиационный режим предгорных районов Копет-Дага характеризуют станции Ашхабад, Кеши и Беки-Бент. Станция Ашхабад, Кеши расположена в слабо волнистой местности на западной окраине города Ашхабада. С севера в 4 км проходит пустыня Каракумы, на юге на расстоянии 2 км расположены холмы северных предгорий Копет-Дага. Почва площадки – серые суглинки со степной растительностью, зеленой весной и выгоревшей летом. Станция Беки-Бент расположена в западных отрогах Копет-Дага, на возвышенном месте. Местность волнистая, местами пересеченная сухими руслами с пологими краями; в период выпадения осадков по ним происходит сток дождевой воды. Почва глинистая с преобладанием песка и редкой степной растительностью.

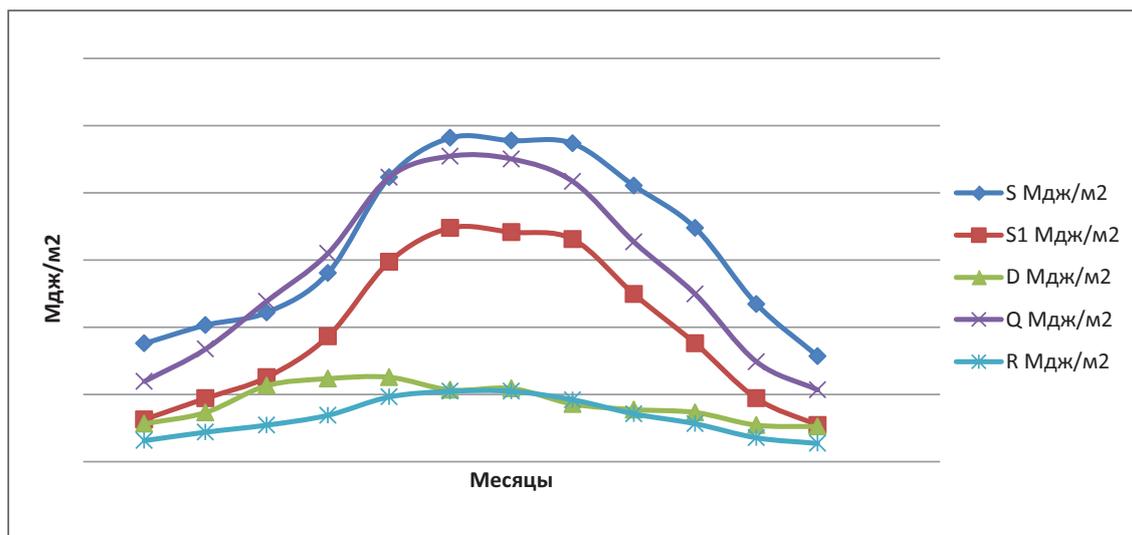


Рис. 1. Годовой ход солнечной радиации на территории Туркменистана

Радиационный режим оазиса характеризует ст. Туркменабат, расположенная на левом берегу р. Аму-Дарья. Общий рельеф местности ровный. Почва суглинистая с примесью солончака. Грунтовые воды залегают на небольшой глубине – 0,5–1 м. Деятельная поверхность актинометрической площадки – естественный густой травяной покров, не выгорающий даже летом.

Приход солнечной радиации определяется прежде всего астрономическими факторами – продолжительностью дня и высотой солнца.

Солнечная радиация, поступающая на земную поверхность, является одним из основных климатообразующих факторов. В свою очередь, она в значительной степени зависит от циркуляции атмосферы и особенностей подстилающей поверхности.

Общий характер циркуляционных процессов на территории Туркмении определяется географическим положением. Рассматриваемая территория расположена между 41 и 36° с. ш. Отличительной особенностью территории является расположение ее в глубине континента и отсутствие обширных водных объектов. Все это обуславливает общую засушливость климата, проявляющуюся в отсутствии осадков в длительный летний период. В результате этого развивается почвенная засуха и термическая депрессия, характеризующаяся безоблачным небом, высокими температурами воздуха и пыльной мглой. На западе территория Туркмении примыкает к восточному побережью Каспийского моря. Близость водного

бассейна смягчает засушливый климат только узкой прибрежной полосы, влажность воздуха здесь сильно повышается, часто бывают дымки, туманы. Открытое положение территории Туркмении с севера и северо-запада благоприятствует проникновению холодных воздушных масс, вследствие чего зимой выпадают осадки в виде дождя, а иногда и снега, наблюдаются отрицательные температуры воздуха и почвы [12–19].

При ясном небе основными факторами, определяющими приход радиации, являются высота солнца и прозрачность атмосферы.

Территория Туркмении расположена в южных районах, где высота солнца в полдень не опускается ниже 26–32° в декабре и достигает 72–76° в июне. Годовой приход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе (т. е. возможный приход) составляет по территории 146–154 ккал/см².

Годовые суммы рассеянной радиации при безоблачном небе составляют 32–39 ккал/см².

Незначительная нижняя облачность в Туркмении снижает поступление прямой солнечной радиации всего на 27–35% от возможной и в то же время увеличивает рассеянную радиацию на 25–40%. В результате при реальных условиях облачности годовой приход суммарной радиации уменьшен по сравнению с возможным на 13–19% и колеблется в пределах 145–163 ккал/см². При этом вклад прямой солнечной радиации в суммарную является основным (табл. 3).

Таблица 3

Отношение месячных сумм прямой радиации к суммарной, %

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кара-Богаз-Гол	43	50	52	59	66	74	74	73	73	72	63	50
Ак-Молла	53	54	55	57	66	72	74	77	76	69	62	52
Чарджоу	53	54	55	60	70	76	79	82	76	70	63	51
Ясхан	47	55	53	59	69	71	72	76	74	70	61	48
Беки-Бент	58	57	56	56	65	70	66	67	70	69	63	60
Ашхабад, Кеши	51	52	54	57	66	70	71	74	71	68	57	50
Гасан-Кули	56	56	55	54	61	61	62	63	67	67	56	51

Таблица 4

Экстремальные суммы прямой радиации на горизонтальную поверхность (ккал/см мес.)
(первая строка – максимальные, вторая строка – минимальные)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ак-Молла	4.0	5.7	7.6	9.4	13.6	16.2	17.4	15.8	12.7	9.3	5.7	3.8
	2.9	3.4	4.4	4.5	10.2	13.0	13.6	12.1	11.0	6.2	3.7	1.2
Туркменабат	4.7	7.2	8.0	11.0	15.7	18.2	19.2	18.5	13.7	10.0	6.2	3.8
	2.0	3.0	4.4	7.3	9.7	14.1	15.7	14.0	10.8	7.7	3.5	1.5
Беки-Бент	4.3	6.9	7.2	9.2	12.9	15.8	14.0	13.4	11.6	9.0	5.7	4.2
	2.8	3.1	4.4	5.6	9.1	11.6	10.0	9.4	8.6	5.9	3.4	2.8
Ашхабад, Кеши	3.8	6.8	6.7	9.4	14.0	16.2	16.2	15.0	12.4	9.2	4.5	3.6
	1.9	2.3	2.5	4.2	8.9	12.2	12.2	10.6	8.9	5.6	3.2	1.8
Гасан-Кули	4.4	6.7	7.8	9.5	14.1	14.1	14.4	12.7	11.6	8.0	5.9	4.3
	2.8	3.1	3.7	4.5	8.6	11.1	9.4	9.0	6.6	4.9	3.1	2.4

В отдельные годы отмечаются значительные отклонения месячных сумм радиации от средних величин, помещенных в таблицах Справочника. Различия в экстремальных суммах прямой радиации достигают 2–4,5 ккал/см² зимой и 4–6 ккал/см² весной и летом (табл. 4). В таблицах 3–4 указаны экстремальные суммы радиации по срочным наблюдениям с учетом поправочного коэффициента на кривизну суточного хода.

С наиболее пониженной прозрачностью атмосферы (мгла, пыльные бури) наблюдаются увеличенные значения рассеянной радиации и, на август 1965 г., для предгорной долины – ст. Ашхабад, Кеши, по данным регистрации с декабря 1961 г. по декабрь 1964 г.

Приходя на земную поверхность, солнечная радиация (прямая и рассеянная) поглощается ею в зависимости от альbedo подстилающей поверхности приведены в таблице 5-8.

Альbedo естественных поверхностей на рассматриваемой территории колеблет-

ся в среднем от 22 до 35% в течение года. Резкое изменение альbedo зимой наблюдается только в отдельные дни при выпадении снега.

Снежный покров на территории Туркмении очень неустойчив, поэтому в зимние месяцы альbedo в среднем не повышается, за исключением горных районов.

На побережье Каспийского моря в 50–80% зим снежный покров совсем не наблюдается, в остальные зимы максимальная высота снежного покрова колеблется в пределах от 1 до 10 см. В предгорьях Копет-Дага полное отсутствие снежного покрова наблюдается в 5–15% зим. В горных районах на высотах 2000–3000 м снежный покров устанавливается в конце ноября – начале декабря, высота его достигает 20–30 см. Сход снежного покрова наблюдается в первой половине марта. На большей части Туранской низменности Туркменистана, в предгорьях Копет-Дага поверхности с редкой растительностью составляет 47–53 ккал/см², с густой травяной растительностью – 71 ккал/см².

Таблица 5

Суточные суммы прямой радиации на горизонтальную поверхность, рассеянной и суммарной радиации в безоблачные дни Юго-Восточной территорий (кал/см²) (октябрь 1962 г. – июнь 1965 г.).

Месяц	Прямая радиация			Рассеянная радиация			Суммарная радиация		
	Средняя	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.
I	216	283	118	64	110	55	280	338	228
II	312	430	152	68	134	58	380	488	286
III	418	576	202	87	193	72	505	648	395
IV	522	628	251	111	230	80	633	708	481
V	600	756	284	133	«258	108	733	864	542
VI	627	883	404	140	267	117	767	900	671
VII	579	735	413	144	265	116	723	851	678
VIII	552	670	365	121	241	94	673	764	606
IX	456	574	290	102	184	83	558	657	474
X	337	458	182	89	172	64	426	522	354
XI	247	379	128	63	127	41	310	420	255
XII	207	258	91	47	100	40	254	298	191

Таблица 6

Часовые и дневные суммы суммарной радиации Юго-Восточного Туркменистана (кал/см²)

Месяцы	Часы																Сумма за день
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
I				2	10	20	26	30	31	28	22	10	3	0			182
II			1	6	18	28	36	40	42	38	31	18	7	2	0		267
III		0	4	14	27	39	50	57	54	51	41	28	16	4	1		386
IV		2	12	24	38	53	60	62	63	59	54	39	26	11	2		505
V		6	21	38	52	61	72	75	75	69	58	46	31	15	3		622
VI	2	11	27	43	57	71	79	84	84	79	70	56	40	23	7	1	734
VII	1	9	25	42	56	70	78	82	82	78	69	55	40	23	5	1	716
VIII		4	18	38	53	67	75	81	80	74	65	50	36	17	1	0	659
IX		2	11	30	47	58	68	73	70	64	55	39	23	12	0		552
X		0	4	18	32	46	56	60	57	53	41	23	12	3			405
XI		1	7	18	29	38	42	39	35	26	16	6	0				257
XII			3	11	20	27	30	29	26	19	10	2					177

Разница между максимальными и минимальными значениями радиационного баланса в зимние месяцы составляет 0,8–1,5 ккал/см², а в летние месяцы эта разница может достигать 4 ккал/см² (табл. 9).

Суточный ход солнечной радиации и радиационного баланса определяется прежде всего изменениями высоты солнца в течение дня. Поэтому максимум солнечной радиации (при наличии облачности и при ясном небе) наблюдается в полдень. Наряду с

этим на суточный ход радиации оказывает влияние прозрачность атмосферы, что ярче проявляется в условиях ясного неба.

На территории Туркмении прозрачность атмосферы изменяется в больших пределах. После выпадения осадков она имеет повышенные значения. Понижение прозрачности атмосферы вызывается частыми пыльными бурями, возникающими при сильных ветрах, и адвективной мглой, когда пыль переносится даже при слабых ветрах.

Таблица 7

Часовые и дневные суммы рассеянной радиации
Юго-Восточного Туркменистана (кал/см)

Месяцы	Часы																Сумма за день
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
I				2	6	10	12	14	14	14	11	6	2				91
II			1	4	9	13	15	18	18	17	14	9	4	2			124
III		0	3	8	13	18	21	24	24	23	21	16	10	3	0		185
IV		1	7	13	19	23	26	29	27	26	23	20	14	7	1		236
V		4	10	13	17	19	21	23	24	22	20	18	14	9	1		216
VI	1	5	10	13	15	18	20	20	20	21	19	17	14	10	2	1	208
VII	1	4	9	12	14	15	17	18	18	18	17	16	14	10	4	1	188
VIII		2	7	10	12	13	15	17	16	15	14	13	11,8	7	4	0	153
IX		2	5	8	10	11	13	14	13	13	12	10		4	1		123
X		0	3		10	11	12	13	13	13	12	9	6	2	0		111
XI			1	4	8	11	12	13	13	11	10	6	2	0			91
XII				2	6	10	12	14	14	12	9	4	1				84

Таблица 8

Часовые и дневные суммы прямой радиации
на горизонтальную поверхность Юго-Восточной части страны (кал/см²)

Месяцы	Часы																Сумма за день
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
I				0	4	10	14	16	17	14	11	4	1				91
II			0	2	9	15	21	22	24	21	17	9	3				143
III		0	1	6	14	21	29	33	30	28	20	12	6	1	0		201
IV		1	5	11	19	30	34	33	36	33	31	19	12	4	1		269
V		2	11	25	35	42	51	52	51	47	38	38	17	6	1		406
VI	1	6	17	30	42	53	59	64	64	58	51	39	26	13	3	0	526
VII		5	16	30	42	55	61	64	64	60	52	39	26	13	1	0	528
VIII		2	11	28	41	54	60	64	64	59	51	37	25	10	0	0	506
IX		0	6	22	37	47	55	59	57	51	43	29	15	8	0		429
X		0	1	11	22	35	44	47	44	40	29	14	6	1			294
XI				3	10	18	26	29	26	24	16	10	4	0			166
XII				1	5	10	15	16	15	14	10	6	1				93

Таблица 9

Экстремальные суммы радиационного баланса (ккал/см²мес)
(первая строка – максимальные, вторая строка – минимальные)

Станция	Число лет наблюдений	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
		Туркменабат	7	1.6	2.8	5.0	7.8	10.4	11.4	11.5	10.3	7.6	4.6
		0.9	1.9	3.9	5.6	8.2	9.4	9.5	8.6	6.4	3.8	0.8	0.7
Беки-Бент	6	1.2	2.1	3.8	5.6	7.7	8.0	7.7	6.7	4.8	3.1	1.7	1.2
		0.2	1.3	2.7	4.2	5.8	6.4	5.9	5.1	3.4	2.3	0.7	0.0
Ашхабад, Кеши	10	1.7	2.8	4.1	5.7	8.7	8.3	7.8	6.9	5.2	3.0	1.6	1.0
		0.5	1.3	2.3	3.6	6.5	6.4	6.3	5.5	3.6	2.2	0.6	0.2
Гасан-Кули	7	1.8	2.5	4.8	6.3	8.4	10.0	9.7	7.5	6.1	4.2	2.0	1.6
		1.5	1.9	3.8	4.0	6.4	6.1	6.0	6.2	3.7	2.4	1.0	0.1

Количество пыльных, бурь связано с характером и состоянием подстилающей поверхности. На песчаных и лёссовых сухих почвах очень часто (даже при умеренном ветре 5–6 м/сек) наблюдаются пыльные и песчаные поземки, при усилении ветра поземок переходит в пыльную бурю. Повторяемость пыльных бурь имеет суточный и годовой ход. В большинстве районов ночью и в ранние утренние часы пыльные бури не отмечаются. После восхода солнца число случаев с пыльной бурей нарастает и достигает максимума в середине дня, а затем начинается умеренный спад. В летнее время пыль, поднятая вверх местными конвективными токами, держится в открытых районах непродолжительное время (один или несколько дней), а затем быстро оседает. В предгорных районах пыль, поднятая на большие высоты, задерживается, и мгла отмечается длительное время. Самое большое число дней с пыльными бурями наблюдается на западе Туркмении, в южной части пустыни Каракумы и в северных предгорьях Копет-Дага. В центральной части орошаемых оазисов пыльные бури наблюдаются реже. Так, в Юго-Восточных Каракумах (Репетек) максимальное число дней с пыльными бурями за год достигает 105 (при среднем, равном 70), в оазисе (район Туркменабада) – в среднем 15–25 дней.

Средние за месяц величины интенсивности прямой солнечной радиации, поступающей на перпендикулярную поверх-

ность, в безоблачные дни, при средней прозрачности атмосферы колеблются с ноября по март в полдень от 1,28 до 1,40 кал/см²мин. От весны к лету в связи с понижением прозрачности атмосферы интенсивность прямой радиации в безоблачные дни уменьшается и составляет в летние месяцы для равнинных районов 1,25–1,31 кал/см²мин, для предгорных районов 1,16–1,28 кал/см²мин.

На интенсивность прямой радиации на горизонтальную поверхность оказывает влияние прежде всего астрономический фактор – высота солнца. Максимум прямой радиации приходится на месяцы с наибольшей высотой, т. е. на июнь и июль, а в суточном ходе на полуденные часы. Прямая радиация изменяется в среднем в течение года в дневные часы на севере территории от 0,83 до 1,20 кал/см²мин, в центральной части оазиса – от 0,60 до 1,22 кал/см²мин, в южной части территории – от 0,60 до 1,18 кал/см²мин.

В дни с наиболее низкой прозрачностью атмосферы интенсивность прямой радиации сильно понижается, а интенсивность рассеянной радиации повышается, особенно в летний период, когда велико число дней со мглой и пыльными бурями (табл. 10, 11).

Облачность понижает интенсивность прямой и суммарной радиации и увеличивает рассеянную радиацию.

Рассеянная радиация изменяется по всей территории в дневные часы в зависимости от вида и плотности облачности в пределах 0,20–0,40 кал/см²мин.

Таблица 10

Экстремальные значения интенсивности прямой радиации на перпендикулярную поверхность (кал/см мин) в безоблачные дни в срок 12 ч. 30 м (первая строка – максимальные, вторая строка – минимальные)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ак-Молла	1.48	1.48	1.50	1.46	1.42	1.40	1.40	1.45	1.47	1.47	1.48	1.48
	0.98	0.97	0.95	0.93	0.80	0.78	0.77	0.80	0.88	0.90	1.00	1.08
Туркменабат	1.49	1.52	1.53	1.53	1.55	1.54	1.44	1.44	1.49	1.54	1.50	1.48
	0.95	0.94	0.90	0.88	0.88	0.80	0.80	0.85	0.86	0.90	0.98	0.96
Ясхан	1.45	1.47	1.51	1.46	1.44	1.40	1.39	1.40	1.42	1.44	1.44	1.44
	1.14	1.12	0.91	0.91	0.89	0.87	0.85	0.97	0.99	1.00	1.10	1.12
Беки-Бент	1.48	1.53	1.55	1.48	1.45	1.43	1.45	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46
	1.10	0.92	0.90	0.86	0.80	0.76	0.75	0.80	0.83	0.85	0.89	1.05
Ашхабад, Кеши	1.46	1.48	1.46	1.42	1.40	1.38	1.42	1.45	1.46	1.48	1.47	1.46
	1.05	1.02	1.01	1.00	0.95	0.81	0.80	0.72	0.75	0.76	0.96	0.97
Гасан-Кули	1.56	1.54	1.53	1.52	1.51	1.50	1.44	1.42	1.43	1.49	1.50	1.50
	1.16	1.16	1.15	1.08	1.00	0.82	0.76	0.85	0.90	0.96	0.98	1.10

Таблица 11

Экстремальные значения интенсивности рассеянной радиации
в безоблачные дни в срок 12 ч. 30 м. (кал/см² мин)
(первая строка – максимальные, вторая строка – минимальные)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ак-Молла	0.22	0.26	0.28	0.32	0.38	0.48	0.50	0.45	0.34	0.32	0.27	0.25
	0.08	0.08	0.10	0.10	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08
Туркменабат	0.25	0.38	0.40	0.41	0.47	0.50	0.53	0.45	0.41	0.37	0.30	0.28
	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08
Ясхан	0.24	0.25	0.27	0.29	0.38	0.37	0.38	0.33	0.28	0.26	0.25	0.25
	0.06	0.08	0.08	0.12	0.14	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.08	0.07
Беки-Бент	0.21	0.26	0.42	0.42	0.43	0.44	0.44	0.42	0.39	0.28	0.25	0.22
	0.06	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07
Ашхабад, Кеши	0.21	0.28	0.39	0.40	0.41	0.48	0.48	0.48	0.44	0.41	0.32	0.23
	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07
Гасан-Кули	0.20	0.22	0.39	0.41	0.42	0.43	0.43	0.41	0.41	0.37	0.32	0.23
	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.14	0.14	0.12	0.09	0.09

Максимальные интенсивности суммарной радиации наблюдаются в июне и июле и колеблются в предгорных районах от 1,10 до 1,37 кал/см²мин.

В отдельные дни при определенных условиях облачности, не закрывающей солнечного диска, интенсивность суммарной радиации может достигать 1,80–1,90 кал/см²мин.

Радиационный баланс при облачности уменьшен по сравнению с ясным небом, но в меньшей степени, чем прямая и суммарная радиация, так как облачность уменьшает и расходную часть радиационного баланса – эффективное излучение.

Радиационный баланс в суточном ходе имеет положительные и отрицательные значения. Максимум положительных значений наблюдается около полудня. Максимальные отрицательные значения наблюдаются вскоре после захода солнца.

Самые высокие значения радиационного баланса в дневное время имеют поверхности, покрытые густым травяным покровом; их баланс в среднем за месяц летом равен 0,50–0,85 кал/см²мин.

Максимальные значения баланса в отдельные дни достигают 1,20–1,30 кал/см²мин. Эти значения в основном наблюдаются при кучевой облачности, когда суммарная радиация достигает 1,50–1,90 кал/см²мин.

Максимальные дневные значения радиационного баланса оголенной почвы летом составляют в среднем 0,50–0,70 кал/см²мин.

В отдельные сроки при кучевой облачности они достигают 1,00–1,20 кал/см²мин.

Радиационный баланс в ночное время в среднем изменяется от –0,04 до –0,10 кал/см²мин, в отдельные ясные ночи достигает –0,15 кал/см²мин.

В южных районах Каспийского моря влажность воздуха повышена по сравнению со всей территорией Туркмении, это сказывается на суточном, месячном и годовом ходе радиационного баланса. Влажность воздуха уменьшает эффективное излучение, поэтому максимальные отрицательные значения радиационного баланса в ясные ночи в районе Гасан-Кули колеблются в пределах от –0,03 до –0,07 кал/см²мин.

Основой для определения времени служит видимое суточное движение солнца по небесному своду. Момент, когда солнце находится точно на юге, т. е. на меридиане данного места, называется истинным полднем. Промежуток времени между истинными полднями двух соседних дней называется истинными солнечными сутками. Вследствие неравномерного видимого движения солнца в течение года продолжительность истинных солнечных суток неодинакова, поэтому на метеорологических станциях удобнее пользоваться средним солнечным временем.

Среднее солнечное время имеет одинаковую продолжительность суток в течение всего года. Продолжительность этих суток равна средней за год продолжительности

истинных суток и служит основной единицей, которая делится на часы, минуты и секунды. Разность между средним солнечным временем и истинным временем (уравнение времени) изменяется в течение года, но не бывает больше 16 мин.

За момент полдня принято время 12 час. Во всех точках, расположенных на одном и том же меридиане, полдень (и любой иной час времени) наступает одновременно. Каждому меридиану соответствует свое местное среднее солнечное время. В один и тот же физический момент среднее солнечное время больше на том меридиане, который расположен восточнее [13,18,94,108].

В гражданской жизни для упрощения счета времени принята система поясного времени. По этой системе весь земной шар разделен меридиональными плоскостями на 24 равных пояса по 15° каждый. Пояса обозначаются номерами от 0 до XXIII. За средний меридиан нулевого пояса принят меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию под Лондоном, а ограничивающими его меридианами являются: меридиан $7,5^\circ$ з. д. и $7,5^\circ$ в. д. от Гринвича. В первом поясе средним меридианом является меридиан 15° от Гринвича, а ограничивающими – меридианы $7,5^\circ$ и $22,5^\circ$ в. д. и т. д. Средние меридианы для поясов даны в таблице 12.

В пунктах, расположенных внутри каждого часового пояса, принимается время среднего меридиана этого пояса. Такое время называется *поясным*. Разность времени двух соседних поясов равна одному часу. Время каждого пояса отличается от времени нулевого пояса (гринвичского времени) на число часов, равное номеру пояса. Время гринвичского меридиана называют также единым временем, по нему, в частности, устанавливаются синоптические сроки наблюдений на станциях.

В период Советского Союза в связи с большой протяженностью территории по широте, по экономическим соображениям, декретом правительства от 16 июня 1930 г. стрелка часов переведена на один час вперед против поясного времени. Это время было названо *декретным*.

Декретное время соответствует, следовательно, не среднему меридиану пояса, а меридиану, лежащему на 15° восточнее, т. е. среднему меридиану следующего по порядку пояса. Например, во втором поясе, к которому принадлежат Москва и Санкт-Петербург, принимается время не меридиана 30° , а меридиана 45° в. д.

Для того чтобы перейти от декретного времени к среднему солнечному, нужно декретному времени придать постоянную поправку. Поправка вычисляется как разность долготы пункта и долготы среднего меридиана данного пояса, увеличенной на 15° , и переводится из угловых единиц в единицы времени с учетом того, что 15° соответствует 1 часу, 1° соответствует 4 мин., Г (угловая минута) соответствует 4 сек. Поправку можно определить и по следующей формуле:

$$4(\lambda - 15N) - 60 \text{ МИН.},$$

где λ – долгота пункта в град., N – порядковый номер данного пояса.

По данным о времени восхода и захода солнца, указанном в табл. 1.13, можно вычислить продолжительность дня на 15-е число месяца для приведенных станций. Для определения продолжительности дня или времени восхода и захода солнца в любом пункте рассматриваемой территории можно пользоваться данными табл. 13.

Как видно из таблицы 13. среднее солнечное время восхода (в) и захода (з) солнца (час, мин.). В таблице помещено время восхода и захода солнца для каждой станции на 15-е число месяца (для февраля на 14-е число) по среднему солнечному времени.

За время восхода (захода) солнца в метеорологии принимается момент появления над горизонтом (исчезновения под горизонтом) верхнего края диска солнца. Действительное время появления или исчезновения диска солнца зависит от профиля линии горизонта на данной станции. Время восхода может быть более поздним при значительной закрытости в азимутах восхода солнца, а время захода – более ранним при закрытости горизонта в азимутах захода солнца.

Таблица 12

Средние меридианы для поясов времени

№ пояса	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средний меридиан	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180

Таблица 13

Среднее солнечное время восхода (в) и захода (з) солнца
на 15-е число по широте (час, мин.)

Широта (град.)		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII	
		в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з
44	в	7 32	7 00	6 13	5 18	4 34	4 16	4 31	5 03	5 37	6 14	6 55	7 27												
	з	16 46	17 28	18 05	18 42	19 18	19 44	19 41	19 07	18 13	17 18	16 33	16 23												
42	в	7 25	6 56	6 13	5 21	4 40	4 24	4 37	5 07	5 39	6 12	6 50	7 21												
	з	16 53	17 32	18 05	18 39	19 12	19 36	19 35	19 03	18 11	17 20	16 38	16 29												
40	в	7 20	6 53	6 12	5 23	4 45	4 30	4 43	5 11	5 40	6 10	6 45	7 14												
	з	16 58	17 35	18 06	18 37	19 07	19 30	19 29	18 59	18 10	17 22	16 43	16 36												
38	в	7 15	6 50	6 12	5 25	4 50	4 37	4 49	5 15	5 41	6 07	6 41	7 09												
	з	17 03	17 38	18 06	18 35	19 02	19 23	19 23	18 55	18 09	17 25	16 47	16 41												
36	в	7 10	6 48	6 12	5 27	4 55	4 43	4 54	5 18	5 42	6 07	6 36	7 03												
	з	17 18	17 40	18 06	18 33	18 57	19 17	19 18	18 52	18 08	17 25	16 52	16 47												

В горах или на берегу моря (и в море) линия горизонта может лежать ниже уровня станции, и действительный восход солнца будет наблюдаться раньше времени вычисленного (теоретического), а время захода соответственно – позднее вычисленного.

Высота солнца на 15-е число месяца (град.). В таблице приводится высота солнца над горизонтом на 15-е число месяца (в феврале на 14-е число), вычисленная для сроков наблюдений на актинометрических станциях. В первой графе таблицы указано начало сроков наблюдений по среднему солнечному времени. Высота солнца соот-

ветствует времени середины наблюдения, обычно отстоящей на 4 мин. от начала срока, и интенсивности радиации, приведенной в таблице 14.

Для характеристики максимальных высот солнца на 15-е число представлены в таблице полуденных высот солнца по широте таблицы 14, и на рисунке 1 для Юго-Восточных территорий Туркменистана.

Характеристики радиационных режимов месячные и годовые суммы радиации в ккал/см² и Мдж/м² и регрессивная зависимость представлены и на рисунке 2 для Юго-Восточной части страны [12-13,35-37].

Таблица 14

Высота солнца в полдень на 15-е число месяца (град.)

Широта (град.)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
52	16.8	24.9	35.8	47.7	56.8	61.3	59.6	52.2	41.1	29.6	19.6	14.7
50	18.8	26.9	37.8	49.7	58.8	63.3	61.6	54.2	43.1	31.6	21.6	16.7
48	20.8	28.9	39.8	51.7	60.8	65.3	63.6	56.2	45.1	33.6	23.6	18.7
46	22.8	30.9	41.8	53.7	62.8	67.3	65.6	58.2	47.1	35.6	25.6	20.7
44	24.8	32.9	43.8	55.7	64.8	69.3	67.6	60.2	49.1	37.6	27.6	22.7
42	26.8	34.9	45.8	57.7	66.8	71.3	69.6	62.2	51.1	39.6	29.6	24.7
40	28.8	36.9	47.8	59.7	68.8	73.3	71.6	64.2	53.1	41.6	31.6	26.7
38	30.8	38.9	49.8	61.7	70.8	75.3	73.6	66.2	55.1	43.6	33.6	28.7
36	32.8	40.9	51.8	63.7	72.8	77.2	75.6	68.2	57.1	45.6	35.6	30.7

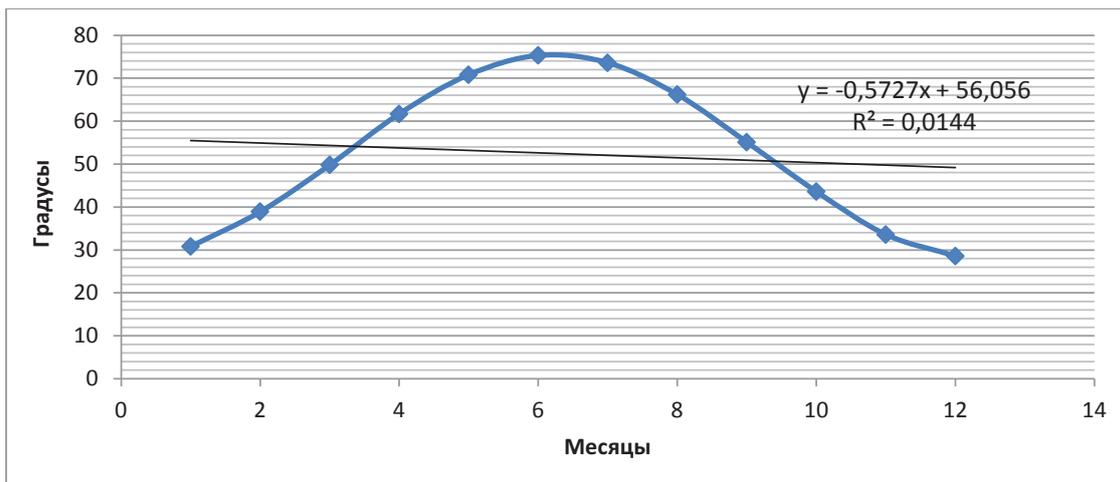


Рис. 2. Высота солнца полдень на 15 число месяца на территории Юго-Восточной части Туркменистана

Солнечное сияние. Данные по продолжительности солнечного сияния необходимо учитывать в сельском хозяйстве для правильного размещения различных сельскохозяйственных объектов. При строительстве различного рода сооружений, когда требуется знание освещенности того или иного района в течение различных сезонов года, месяцев или суток, а также при использовании энергии солнца, например, для отопления жилых домов, нагрева воды и т.д.

На сети метеорологических станций Советского периода основными приборами для записи солнечного сияния является гелиограф универсальной модели, который при малой высоте солнца над горизонтом, когда напряжение радиации бывает слабым, не всегда регистрирует солнечное сияние и запись солнечного сияния получается преуменьшенной. Прожоги на ленте по гелиографу универсальной модели начинаются при напряжении радиации $0,3-0,4 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$.

Как правило замеры проводились на метеостанциях, гелиограф был устанавливался на отдельном столбе высотой 2 м от поверхности земли на открытом месте, доступном лучам солнца от восхода до захода солнца во все месяцы года. Иногда гелиограф устанавливается на специальных вышках или на крышах зданий вблизи метеорологической площадки [13-19,21-25,48,82,94-98].

Характеристика солнечного сияния. В этом разделе рассматривается пять характеристик солнечного сияния: продолжительность солнечного сияния (часы); отношение наблюдавшейся продолжительности

солнечного сияния к возможной (%); число дней без солнца. Суточный ход продолжительности солнечного сияния (часы).

Повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния по градациям (в % от общего числа случаев с непрерывным солнечным сиянием).

Территория Туркменистана представляет собой низменную равнину, являющуюся южной частью обширной Туранской впадины. Лишь на юге возвышаются хребты Туркмено-Хорасанских гор и отрогов Паропамизской и Гиссарской горных систем.

С запада рассматриваемая территория омывается водами Каспийского моря. На востоке граница Туркмении проходит примерно по руслу р. Аму-Дарья.

Продолжительность солнечного сияния в любом пункте зависит от длины дня, от облачности и по мере продвижения с севера на юг и с запада на восток, как правило, увеличивается. Широтное распределение солнечного сияния по территории нарушается наличием облачного покрова, обусловленного особенностями атмосферной циркуляции.

В горных районах вследствие естественной защищенности увеличение числа часов солнечного сияния с высотой наблюдается лишь на открыто расположенных станциях.

В связи с близостью Каспийского моря в прибрежной полосе (Челекен, Гасан-Кули) наблюдается увеличение числа облачных дней и дней с туманом, чем обуславливается уменьшение продолжительности солнечного сияния примерно на 400–450 час. в год по сравнению с внутренними районами рас-

смаатриваемой территории (Иолотань, Ер-бент). На северных склонах горных хребтов Копет-Дага наблюдается также увеличение числа дней с облачностью, в связи с чем продолжительность солнечного сияния здесь по сравнению с Центральными Каракумами меньше в среднем на 200 часов в году.

Наибольшая продолжительность солнечного сияния летом наблюдается на востоке Центральных и Юго-Восточных части Туркменистана (Ак-Молла, Атамырат, Ёолотань, Серхетабат) и достигает здесь 390–400 часов в месяц, что составляет 95–97% возможной продолжительности. Наименьшая продолжительность солнечного сияния в это время года – 310–320 часов в месяц (около 75% возможной) – имеет место в зоне сухих субтропиков, охватывающих юго-западную часть Туркмении (Кара-Кала, Гасан-Кули).

В зимний период в этом районе, наоборот, отмечается наибольшее число часов солнечного сияния – 150–165 час. в месяц (около 52% возможной). Наименьшая продолжительность солнечного сияния в это время года – 100–120 час. в месяц (около 38% возможной продолжительности) – наблюдается в предгорьях Копет-Дага и на севере рассматриваемой территории.

В годовом ходе наименьшая продолжительность солнечного сияния отмечается зимой (в декабре, январе), когда светлое время суток сокращается до минимума, а число облачных дней достигает максимальной величины в году. Наибольшая продолжительность солнечного сияния в Туркме-

нистане отмечается в июле в период почти полного отсутствия облаков (рис. 3).

В течение всего года для рассматриваемой территории характерны пыльные бури и мгла. Указанные явления особенно интенсивны в весеннее время, когда помутнение атмосферы от поднятых в воздух частиц пыли и песка бывает настолько сильным, что солнца совершенно не видно и прожога на ленте гелиографа не получается. В качестве примера можно привести пыльную бурю, наблюдавшуюся в Туркменабате 6 мая 1954 г.: вследствие помутнения атмосферы продолжительность солнечного сияния была вдвое меньше по сравнению с предыдущим днем (5 мая), когда отмечалась ясная погода при отсутствии пыльной бури.

В отдельные годы число часов солнечного сияния может значительно отклоняться от многолетних средних.

Продолжительность солнечного сияния (часы). В таблице представлено среднее многолетнее число часов солнечного сияния по месяцам и за год, полученное из рядов наблюдений различной длительности в пределах периода 1896–1963 гг. Однако ни на одной станции не было наблюдений за указанный период полностью.

Данные всех станций с периодом наблюдений менее 15 лет там, где это представлялось возможным, приведены к более длительному периоду методом разностей, а по ст. Кара-Богаз-Гол из-за удаленности сравниваемых пунктов использованы наблюдения за 12 лет без приведения, полученные путем непосредственного подсчета [13,74,82,117].

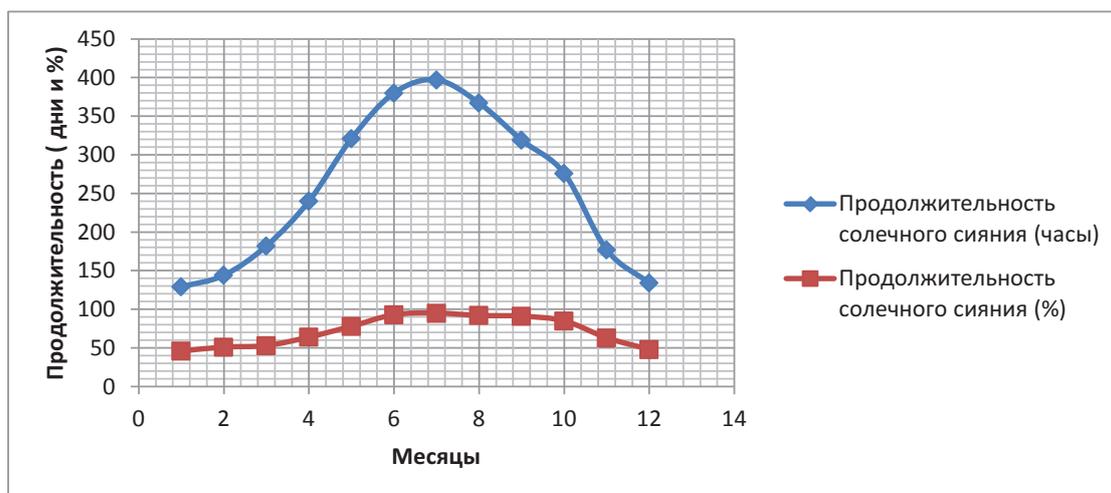


Рис. 3. Продолжительность солнечного сияния по часам и в процентном соотношении в Юго-Восточной территории Туркменистана

Отношение наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной (%). Указанная таблица дает представление о сравнительной ясности неба. Данные этого рисунка 2. представляют собой отношение фактически наблюдавшегося числа часов солнечного сияния к возможному, т. е. к теоретически вычисленному сиянию для данного пункта при условии безоблачного неба от восхода до захода солнца с учетом открытости горизонта. При составлении этой таблицы учитывались поправки на закрытость горизонта и чувствительность прибора.

На рисунке 2 в качестве примера приведено месячное среднее число часов и процентном соотношении солнечного сияния на территории Юго-Восточной страны.

Дополнением к месячным данным по продолжительности солнечного сияния является продолжительность его в различные часы суток. В летние месяцы солнечное сияние регистрируется в основном от 4 до 20 час. Уже в 9–10 час. продолжительность солнечного сияния близка к максимуму за сутки и только в 16–17 час. отмечается ее резкое уменьшение. На побережье Каспийского моря максимум продолжительности солнечного сияния летом наблюдается в интервале между 13 и 15 час. и составляет в среднем 28–29 час. в месяц, на остальной части территории максимальная продолжительность отмечается в течение нескольких часов подряд с 11 до 15 час. и составляет 29–30 час. в месяц.

Зимой запись солнечного сияния начинается значительно позже (около 7 час.) и заканчивается раньше (в 17–18 час.), при этом наибольшее число часов солнечного сияния отмечается около полудня в интервале между 12–14 час. и составляет на побережье Каспийского моря в среднем за месяц 14–16 час., на юге (Гасан-Кули) – 18–19 час., на остальной части территории – 15–18 час.

Наибольшая повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния приходится на градации от 12 до 14 час. подряд (июнь, июль) и составляет 50–60% в Центральных Каракумах, 70–75% в Юго-Восточных Каракумах, 30–35% в прибрежных районах Каспийского моря.

Зимой (декабрь–январь) наибольшая повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния на всей территории приходится на градацию 6–8 час. подряд (30–60%).

Наибольшее число дней без солнца отмечается зимой (в декабре, январе) в период наибольшей повторяемости облачных дней и дней с туманом. Больше всего облачных дней и дней без солнца в это время года (от 9 до 11 дней в месяц) отмечается в предгорьях и на севере рассматриваемой территории. Минимальное число дней без солнца (3–4) зимой наблюдается на крайнем юго-западе Туркмении и в горах на высотах более 1500 м (на открытых местах). С июня по сентябрь по всей территории Туркмении за рассматриваемый период наблюдений не отмечалось ни одного дня без солнца.

Число дней без солнца. На рис. 4. представляют многолетнее среднее число дней, когда солнечное сияние не наблюдалось в течение всего дня. Для составления графика использованы те же станции Юго-восточных Каракумов за тот же период, что и по продолжительности солнечного сияния. Данные станций с короткими рядами наблюдений там, где представлялось возможным, приведены к более длительному периоду (25–35 лет) методом разностей [11,13–19,23–25].

Повторяемость каждой градации, полученная подсчетом за имеющийся период, дается в процентах от общего числа случаев с непрерывным солнечным сиянием.

Выборка непрерывной продолжительности солнечного сияния производилась по ежедневным данным из таблиц солнечного сияния, а не по лентам гелиографов. За непрерывную продолжительность солнечного сияния условно принимались следующие записи в ежедневных данных:

Если запись числа часов солнечного сияния в каждом часовом интервале за какой-либо день была по 1,0 часу или с перерывом не более 0,1 часа между последующими часовыми интервалами.

Если в первом часовом интервале за какой-либо день запись начиналась с доли часа, например, с 0,6 часа, а затем была непрерывная запись по 1,0 часу в каждом последующем интервале и до последнего дробного числа, например, до 0,3 часа (конец непрерывной записи).

Если в какой-либо день запись числа часов солнечного сияния была прерывистой (переменная облачность), но на отдельных участках данного дня в таблице запись была равна или превышала 2 часа подряд, т. е. 1,0 и 1,0.

Таблица 15

Месячные и годовые суммы падающей солнечной радиации
на территорий Туркменистана (ккал/см²)

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	Среднее
Прямая солнечная радиация	S ккал/см ²	8,4	9,7	10,6	13,4	20,2	23	22,8	22,6	19,6	16,6	11,2	7,5	185,6	15,46667
Солнечная радиация горизонтальная поверхность	S1 ккал/см ²	3	4,5	6	8,9	14,2	16,6	16,3	15,8	11,9	8,4	4,5	2,6	112,7	9,391667
Рассеянная радиация	D ккал/см ²	2,7	3,5	5,4	5,9	6	5,1	5,2	4,1	3,7	3,5	2,6	2,5	50,2	4,183333
Суммарная радиация	Q ккал/см ²	5,7	8	11,4	14,8	20,2	21,7	21,5	19,9	15,6	11,9	7,1	5,1	162,9	13,575
Отраженная коротковолновая радиация	R ккал/см ²	1,5	2,1	2,6	3,3	4,6	5	5	4,4	3,4	2,7	1,7	1,3	37,6	3,133333
	Bk	4,2	5,9	8,8	11,5	15,6	16,7	16,5	15,5	12,2	9,2	5,4	3,8	125,3	10,44167
Радиационный баланс Q-R-Еэф	B	1,3	2,5	4,4	6,6	9,8	10,8	10,8	9,7	7,3	4,3	1,6	1	70,1	5,841667
	B+	2,7	3,9	5,8	7,7	11,1	12	12	11,1	8,8	5,9	3,2	2,3	86,5	7,208333
	B-	1,4	1,4	1,4	1,1	1,3	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,6	1,3	16,4	1,366667
Альbedo поверхности	A (%)	26	26	23	22	23	23	23	22	22	23	24	25	282	23,5

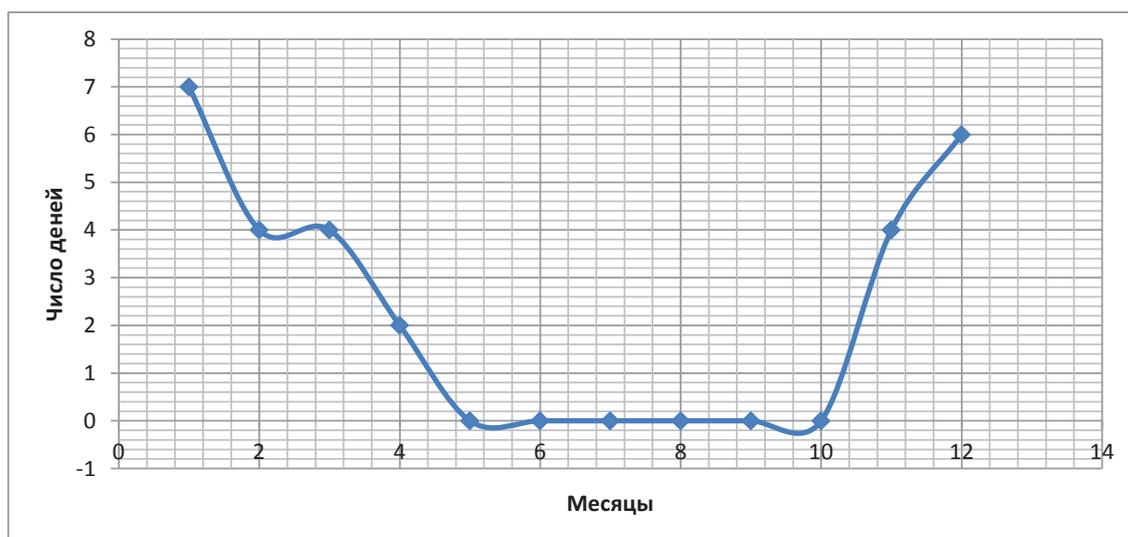


Рис. 4. Число дней без солнца в течение года. Продолжительность солнечного сияния по часам и в процентном соотношении в Юго-Восточной части страны

4. Теоретическое определение потенциалов солнечной энергии

Теоретическое определение валового потенциала солнечной энергии

Теория определения солнечного излучения. Солнечное излучение вблизи поверхности Земли имеет спектр, близкий к спектру черного тела с температурой 6000 К, с угловым диапазоном $\sim 0.5^\circ$. Интенсивность внеатмосферного солнечного излучения несколько изменяется при годовом движении Земли и в среднем составляет $I_0 = 1360$ Вт/м² (солнечная постоянная). На поверхности Земли солнечное излучение включает следующие компоненты: прямое солнечное излучение с интенсивностью $I_{\text{п}}$, Вт/м², которая меньше внеатмосферной, и с измененным спектральным составом в основном за счет обеднения коротковолновой части спектра, что вызвано поглощением излучения при прохождении в атмосфере; рассеянное диффузное солнечное излучение с интенсивностью $I_{\text{д}}$, Вт/м² которое определяется коэффициентом отражения (альбедо) ρ ,

$$I_{\text{от}} = \rho \cdot (I_{\text{п}} + I_{\text{д}}) \quad (9)$$

Солнечное излучение зависит от географической широты точки на земной поверхности, ее высоты над уровнем моря, времени года и суток, облачности. Наибольшее значение интенсивности излучения может превышать 1000 Вт/м² [5,9-13,16-19].

В качестве характеристики прямого солнечного излучения при безоблачном небе используется понятие «атмосферной массы», связанной с длиной пути, проходимого излучением в атмосфере. Единицы атмосферной массы соответствует путь, проходимый излучением в направлении, перпендикулярном горизонтальной поверхности Земли. Атмосферная масса M определяется выражением:

$$M = \frac{2}{\left(\sqrt{\cos^2 \theta + \frac{2 \cdot H}{R_3} + \cos \theta} \right)} \approx \frac{2}{\left(\sqrt{\cos^2 \theta + 0.06 + \cos \theta} \right)}, \quad (10)$$

где θ – угол между направлениями в зенит и на Солнце, H – толщина атмосферного слоя, R_3 – радиус Земли. При таком определении внеатмосферное солнечное ($M = 0$) обозначается как АМО, наземное излучение в южных широтах на уровне моря в ясный день

– примерно как АМ1, чему по определению соответствует интенсивность прямого излучения $I_1 = 1000$ Вт/м². Максимальное значение атмосферной массы, соответствующее нахождению Солнца вблизи горизонта ($\cos \theta = 0$), равно:

$$M_{\text{м}} = \frac{2}{\sqrt{\frac{2 \cdot H}{R_3}}} \approx 8. \quad (11)$$

Если пренебречь дисперсией коэффициента поглощения излучения в атмосфере и его зависимостью от высоты над поверхностью Земли, то интенсивность солнечного излучения для атмосферной массы M может быть представлена приближенным значением:

$$I_M = I_1 \cdot \left(\frac{I_1}{I_0} \right)^{M-1} = 1000 \cdot \left(\frac{1000}{1360} \right)^{M-1} \text{ Вт/м}^2 \quad (12)$$

При этом, в действительности, следует учитывать, что с увеличением атмосферной массы не только уменьшается интенсивность солнечного излучения, но и изменяется его спектральный состав в основном за счет более сильного обеднения коротковолновой части спектра [5,9-13,19-19].

Способы определения энергетических потоков солнечного излучения. В Туркменистане регистрация прихода солнечного излучения осуществляется государственной метеорологической службой с использованием сети актинометрических станций. Измерения проводятся стандартными термоэлектрическими приборами: интенсивности прямого солнечного излучения – актинометром АТ-50; интенсивность суммарного солнечного излучения (прямого плюс рассеянного) – пиранометром баллометрического типа М-80. Данные регулярно публикуются с 1961 г. в ежемесячниках и справочниках. Работы по созданию солнечного кадастра на территории бывшего СССР проводятся систематически на протяжении десятков лет в Главной геофизической обсерватории (ГГО) им. А.И. Воейкова в Санкт-Петербурге. Разработаны методы долгосрочного прогноза поступления солнечной энергии по всей территории бывшего СССР.

В тех случаях, когда в рассматриваемом регионе отсутствуют или недостаточно актинометрических станций, для расчета прихода солнечного излучения применяется косвенный метод, основанный на репрезен-

тативности данных по излучению на близлежащих станциях и соседних территориях с применением формулы Ангстрема, усовершенствованной Пейджем и представленной в работе:

$$E = E_0 \cdot \left(a + b \cdot \frac{t_c}{t_0} \right), \quad (13)$$

где E , кВт·ч/м² – суммарная плотность солнечного излучения на горизонтальную поверхность за определенный период времени (час, сутки, месяц, год); E_0 , кВт·ч/м² – суммарная плотность солнечного излучения при безоблачном небе за выбранный период времени; a, b – эмпирические коэффициенты, причем

$$a + b = 1, \quad (14)$$

t_c , ч – эмпирическая продолжительность солнечного сияния для данной местности в течении выбранного периода времени;

t_0 , ч – астрономически возможная продолжительность солнечного сияния для данной местности.

В работе [5,9-13,16-19] представлены некоторые оценки непрерывной продолжительности солнечного сияния для ряда пунктов, расположенных в различных климатических зонах бывшего СССР. С этой целью учитывалось (в % от общего количества дней наблюдений) непрерывная продолжительность солнечного сияния более 6 часов в сутки.

Рассчитанные и эмпирические данные в формуле (13) по территории СССР и представлены в виде карт и опубликованы в Метеорологическом ежемесячнике. В работах [5,9-13,19-19] приведена разбивка на 5-градусные (по широте) трапеции к югу от 70° северной широты в количестве 144 трапеций. Ошибка экстраполяции погодных данных по продолжительности солнечного сияния на расстоянии до 200 км (характерное расстояние для трапеции) составляет до 5% от натуральных в летний период и до 10% – в зимний период.

Для задач прогнозирования в области солнечной энергетики важное значение имеют не только средние величины сумм потоков солнечной энергии, ни и их изменения от года к году, что в первую очередь характеризуется многолетними среднеквадратичными отклонениями величин.

В работе [13] проведена оценка точности нахождения средних величин потоков солнечной энергии, используемая в гелио-

технике, в зависимости от числа лет наблюдений. В работе [13] приведены составленные карты среднеквадратичных отклонений суммарных приходов солнечной энергии. При этом обнаружено, что суммарный годовой приход солнечной энергии более устойчив от года к году, чем месячный, а тем более суточный, что вполне объяснимо значительно большим объемом статических данных в первом случае. Показано также, что распределения суточных суммарных потоков солнечной энергии, вообще говоря, отличаются от нормального распределения, включая асимметрию и эксцесс, причем их можно легко сгруппировать в определенные 6 типов распределений.

В данной работе предложено районирование территории на основе принципа ранжирования по следующим приоритетам: суммарный поток солнечной энергии, вклад прямого излучения в суммарную, повторяемость ежедневных сумм потоков энергии излучения, годовое число часов солнечного сияния с интенсивностью более 600 Вт/м², коэффициент вариации годовых сумм потоков энергии излучения.

Расчет потока солнечной энергии на наклонную поверхность и оптимизация угла наклона. Приведенные в предыдущем разделе актинометрических измерений и расчетов относятся к потокам солнечной энергии на горизонтальную поверхность. В то же время при проектировании солнечных энергоустановок возникает необходимость расчета данных по приходу энергии на наклонную поверхность приемника солнечного излучения, поэтому возникает задача установления соотношений между потоками солнечной энергии на эти поверхности.

В общем случае на наклонную поверхность падают все три отмеченные выше компоненты суммарного солнечного излучения: прямого солнечного излучения с интенсивностью I_n , рассеянного диффузного солнечного излучения с интенсивностью I_d и отраженного от поверхности Земли с интенсивностью $I_{от} = \rho(I_n + I_d)$, которые имеют различные угловые характеристики. Прямое излучение является узконаправленным, представляющим практически параллельный поток. Диффузная составляющая имеет практически изотропное угловое распределение, а угловое распределение отраженной составляющей определяется оптическими характеристиками отражения от земной по-

верхности рассматриваемой местности и зависит от рельефа, наличия снежной или водного покрова, растительности и застроек [5,9-13,16-19].

Соотношения между интенсивностью прямой составляющей солнечного излучения на горизонтальную поверхность I_{II} , Вт/м², и на наклонную поверхность I_{HI} , Вт/м², определяются выражениями:

$$I_{II} = I_{II} \cos \theta, \quad (15)$$

$$I_{HI} = I_M \cos \xi, \quad (16)$$

где I_M , Вт/м² – интенсивность прямого солнечного излучения на нормально ориентированную поверхность; θ – угол между направлениями на Солнце и зенит (угол падения на горизонтальную поверхность); ξ – угол между направлением на Солнце и нормально к наклонной поверхности (угол падения на наклонную поверхность), ориентированной на юг:

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega, \quad (17)$$

$$\cos \xi = \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta, \quad (18)$$

где δ – угол склонения, т.е. угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора; φ – широта местности; ω – часовой угол движения Солнца, равный 0 в солнечный полдень; каждый час времени t соответствует 15° долготы, причем значения часового угла до полудня считаются положительными, а после полудня – отрицательными:

$$\omega = \pi t / 12 \quad (19)$$

моменты восхода и захода Солнца, определяемые условием $\theta = \pi/2$, выражаются одной и той же величиной t_s , которая считается положительной для восхода и отрицательной – для захода:

$$\cos \omega_s = \cos\left(\frac{\pi t_s}{12}\right) = -tg \delta tg \varphi, \quad (20)$$

β – угол наклона рассматриваемой поверхности к горизонту.

Значение угла солнечного склонения можно определить по формуле Купера

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \sin\left[360^\circ \cdot \frac{284 + n}{365}\right], \quad (21)$$

где n – порядковый номер дня года, отсчитываемый с 1 января. Среднемесячные значения углов солнечного склонения δ° представлены в таблице 16.

Таблица 16

Среднемесячные значения углов солнечного склонения δ°

Месяц	I	II	III	IV	V	VI
Δ°	-12.1	-14.1	-2.8	9.2	18.7	+23.1

Месяц	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Δ°	+21.3	+13.5	+2.0	-9.6	-18.7	-23.5

Таким образом, отношение интенсивности прямого солнечного излучения на наклонную поверхность к интенсивности этого излучения на горизонтальную поверхность в любой момент времени рассчитывается из выражения

$$\frac{I_{HI}}{I_{II}} = \frac{\cos \xi}{\cos \theta}. \quad (22)$$

Если распределение рассеянного солнечного по небосводу равномерное (яркость неба, за исключением Солнца, одинакова), в том числе, когда небо покрыто облаками, сплошной туманной дымкой, интенсивность рассеянного излучения на наклонную поверхность зависит только от того, какую часть небосвода «видит» приемник, и оказывается равной:

$$I_{H2} = I_D \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (23)$$

Аналогично рассчитывается значение интенсивности отраженного излучения на наклонную поверхность, определяющееся той частью поверхности Земли, когда «видит» наклонная поверхность:

$$I_{H3} = \rho(I_{II} + I_D) \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (24)$$

Суммарная интенсивность солнечного излучения на наклонную поверхность представляет совокупность трех указанных выше компонентов:

$$I_H = I_{HI} + I_{H2} + I_{H3} = I_M \cos \xi + I_D \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho(I_{II} + I_D) \frac{1 - \cos \beta}{2}. \quad (25)$$

Эта интенсивность является переменной во времени не только в силу суточного вращения Земли, определяющего явную временную зависимость часового угла ω (19), но и из-за случайной временной зависимости интенсивности прямого излучения.

Таблица 17

Значения $I_{HI} / I_{II} = \cos \xi / \cos \theta$ для широты $\varphi = 35^\circ$ и $\varphi = 45^\circ$

Φ°	Местное время, ч/Часовой угол ω										
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	75	60	45	30	15	0	-15	-30	-45	-60	-75

1) при $\beta = 45^\circ$

+10	0,98	1,21	1,32	1,37	1,37	1,41	1,38	1,37	1,32	1,21	0,98
+20	0,71	0,96	1,07	1,16	1,2	1,2	1,2	1,16	1,07	0,96	0,71
+23,5	0,65	0,88	1,01	1,09	1,12	1,13	1,12	1,09	1,01	0,88	0,65

2) при $\beta = 35^\circ$

+10	1,0	1,2	1,3	1,34	1,36	1,37	1,36	1,34	1,3	1,2	1,0
+20	0,82	,1	1,12	1,18	1,21	1,22	1,21	1,18	1,12	1,1	0,82
+23,5	0,79	0,98	1,07	1,14	1,17	1,17	1,17	1,14	1,07	0,98	0,79

В общем случае зависимость интенсивности от угла наклона поверхности β обладает максимумом. В таблице 17 представлены значения параметра пересчета интенсивности прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность $I_{HI} / I_{II} = \cos \xi / \cos \theta$ в зависимости от часового угла Солнца ω и угла склонения δ при различных углах наклона β для северной широты $\varphi = 45^\circ$, т.е. примерно для средней широты Туркменистана, по (14) [13,19].

Таким образом для средних широт Туркменистана и безоблачного неба в феврале, марте, сентябре, октябре (угол склонения Солнца $\delta=3^\circ$) поверхность целесообразно ориентировать на широту местности, в данном случае, под углом наклона $\beta=35^\circ$; в апреле, августе ($\delta \approx 10^\circ$) – под углом $\beta=45^\circ$; в мае, июне, июле ($\delta > 20^\circ$) – под углом $\beta=35^\circ$. Следует однако учесть, что таблице 17 не учитываются ранние часы суток по местному времени (до 7 ч) и поздние часы (после 17 ч), которые особенно существенны в летний период года. Учет всего времени суток приводит к уменьшению значения оптимального угла для летних месяцев.

Задача более точного определения оптимального угла наклона β с учетом реального поступления солнечной энергии включает определение полного потока солнечной энергии на наклонную поверхность в течение определенного периода времени (например, за месяц) при различных углах наклона посредством интегрирования (17) по времени и в дальнейшем выбор наиболее

эффективного значения β . Однако поскольку зависимость потока от времени имеет случайный характер, то и значение оптимального угла для рассматриваемого периода времени и данной местности, строго говоря, является случайной величиной [5,9-13,16-19].

В некоторых практических случаях можно сделать более упрощенную процедуру приближенного значения задачи. Действительно, условие оптимума по β для потока энергии прямого солнечного излучения может быть записано в виде:

$$\frac{d(\langle \cos \xi \rangle \Delta \omega)}{d\beta} = 0 \quad (26)$$

где средняя величина $\langle \cos \xi \rangle$ определяет средний поток солнечной энергии на наклонную плоскость на суточном интервале часовых углов освещения наклона поверхности Солнцем $\Delta \omega$:

$$\langle \cos \xi \rangle = \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \langle \cos \omega \rangle + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta, \quad (27)$$

причем величина $\langle \cos \omega \rangle$ определяет средний за светлое время суток косинус часового угла Солнца.

Для «зимнего» полугодия ($\delta \leq 0$)

$$\Delta \omega = 2\omega_s; \langle \cos \omega \rangle = \frac{\sin \omega_s}{\omega_s}, \quad (28)$$

где ω_s – угол захода Солнца, что дает следующее уравнение для определения оптимального угла наклона β_{opt} :

$$\operatorname{tg}(\varphi - \beta_{оп}) \frac{\operatorname{tg} \delta \omega_s}{\sin \omega_s}. \quad (29)$$

Для «летнего» полугодия ($\delta \geq 0$)

$$\Delta \omega = 2\omega_c; \langle \cos \omega \rangle = \frac{\sin \omega_c}{\omega_c}, \quad (30)$$

где ω_c – часовой угол Солнца, соответствующий условию $\cos \xi = 0$, что дает:

$$\cos \omega_c = -\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg}(\varphi - \beta) \quad (31)$$

При этом величины $\Delta \omega$ и $\langle \cos \omega \rangle$ зависят от угла наклона β , что необходимо учитывать в поисках максимума значения $\langle \cos \omega \rangle \Delta \omega$.

Для зимних периодов до весеннего равноденствия и после осеннего равноденствия основной вклад в полный приход солнечной энергии дают часы вблизи солнечного полудня, причем часовые углы ω_s восхода и захода Солнца оказываются существенно меньше 90° . Поэтому в выражении (29) в этих случаях можно положить $\omega_s = 0$. Это дает простое выражение:

$$\beta_{оп} = \varphi - \delta, \quad (32)$$

что соответствует ориентации поверхности не только на юг, но и на направление максимума интенсивности прямого солнечного излучения в полдень.

При этом отношение интенсивности прямого солнечного излучения на наклонную поверхность к интенсивности прямого солнечного излучения в полдень.

При этом отношение интенсивности прямого солнечного излучения на наклонную поверхность к интенсивности прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность приобретает значение (33)

$$\frac{I_{H1}}{I_H} = \frac{\cos \xi}{\cos \theta} = \frac{(\cos \delta)^2 \cos \omega + (\sin \delta)^2}{\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega},$$

при временах t , соответствующих условию близости к солнечному полудню, $I - \cos \omega \ll I$, оно дает (34)

$$\frac{I_{H1}}{I_H} = \frac{1}{\cos(\varphi - \delta)} - \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \delta) \sin 2\delta}{2} (1 - \cos \omega).$$

Соответствующее значение приобретает и интенсивности (23), (24).

Для летнего периода оптимальное решение $\beta_{оп}$ определяемое из уравнений (27), (30), (31), оказывается меньше значения

(32). На практике выражение (32) пригодно для оценочного расчета максимального прихода солнечной энергии в течение всего года. В частности, ему соответствуют выводы об оптимальной ориентации, сделанные по таблице 17.

Поскольку на практике интенсивности прямого солнечного излучения I_M слабо зависит от времени суток, то, используя (15), (16), можно представить следующие соотношения для многолетних среднесуточных (или среднемесячных) значений интенсивностей излучения в дневное время, $\langle I_H \rangle, \langle I_M \rangle, \langle I_{H1} \rangle$, Вт/м²:

$$\begin{aligned} \langle I_H \rangle &= \langle I_M \rangle \langle \cos \theta \rangle = \\ &= \langle I_M \rangle \left(\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \frac{\sin \omega_s}{\omega_s} \right), \quad (35) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle I_{H1} \rangle &= \langle I_M \rangle \langle \cos \xi \rangle = \\ &= \langle I_M \rangle [\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \langle \cos \omega \rangle + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta], \quad (36) \end{aligned}$$

где ломанные скобки $\langle \dots \rangle$ обозначают усреднение стоящей в них величины по светлomu времени в сутках (или, аналогично, в месяце), значение $\langle \cos \omega \rangle$ дается выражениями (28), (30), причем входящая в них величина угла склонения δ представляет, соответственно, его среднесуточное или среднемесячное значение. Таким образом, соотношение между средними значениями интенсивности солнечного излучения на горизонтальную и наклонную поверхность получается в виде

$$\begin{aligned} \langle I_H \rangle &= \langle I_H \rangle \frac{\langle \cos \xi \rangle}{\langle \cos \theta \rangle} + \langle I_H \rangle \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + \\ &+ \rho (\langle I_H \rangle + \langle I_H \rangle) \frac{1 - \cos \beta}{2}. \quad (37) \end{aligned}$$

В соответствии с этим среднесуточный за многолетний период приход солнечной энергии на единицу наклонной поверхности E_H , Втч/(м²сут), равен

$$E_H = \langle I_H \rangle \cdot 12 \cdot \left(\frac{2\omega_s}{\pi} \right), \delta \leq 0, \quad (38)$$

$$E_H = \langle I_H \rangle \cdot 12 \cdot \left(\frac{2\omega_c}{\pi} \right), \delta \geq 0, \quad (39)$$

где $12(12\omega_s/\pi)$ или $12(12\omega_c/\pi)$, ч/сут, – число часов в светлое время суток. Соотношение между среднесуточными приходами солнечной энергии на горизонтальную и наклонную поверхности получается в виде

$$\langle E_H \rangle = \langle E_{\Pi} \rangle \frac{\langle \cos \xi \rangle}{\langle \cos \theta \rangle} + \langle E_{\Delta} \rangle \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + \rho (\langle E_{\Pi} \rangle + \langle E_{\Delta} \rangle) \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (40)$$

где E_{Π} и E_{Δ} связаны соответственно с $\langle I_{\Pi} \rangle$ и $\langle I_{\Delta} \rangle$ выражениями типа (38)

Месячные приходы энергии определяются аналогично как произведение соответствующей средней интенсивности солнечного излучения на число дневных часов в месяце.

В работе представлен другой универсальный метод расчета прихода солнечной энергии на наклонную поверхность с использованием эмпирического показателя облачности [5-7,9-13,19].

Теоретическое и методическое определения валового потенциала солнечной энергии региона. Практически важным является также случай ориентации поверхности перпендикулярно потоку прямого солнечного излучения, что достигается посредством использования специальных систем слежения за Солнцем и соответствующего вращения поверхности. В частности, при этом должно соблюдаться равенство угла наклона поверхности к горизонту и зенитного угла Солнца

$$\beta = 0, \quad (41)$$

а суммарная интенсивность солнечного излучения при полной ориентации поверхности определяется зависимостью (42):

$$I_{OP} = I_M + I_{\Delta} \frac{1 + \cos \theta}{2} + \rho (I_{\Pi} + I_{\Delta}) \frac{1 - \cos \theta}{2},$$

где I_M , I_{Π} – интенсивности прямого солнечного излучения, соответствующие выражениям (15), (16). Фактически это обеспечивает максимум прихода солнечной энергии на единицу площади поверхности. Среднесуточное или среднемесячное значение интенсивности солнечного излучения для полностью ориентированной поверхности представляется в виде (43)

$$\langle I_{OP} \rangle = \langle I_M \rangle + \langle I_{\Delta} \rangle \frac{\langle 1 + \cos \theta \rangle}{2} + \rho \left(\langle I_M \rangle (\langle \cos \theta \rangle - \langle \cos^2 \theta \rangle) + \langle I_{\Delta} \rangle \frac{1 - \langle \cos \theta \rangle}{2} \right),$$

Среднегодовое суточное или месячное значение прихода солнечной энергии на

полностью ориентированную поверхность E_{OP} определяется по правилам (38) и равен

$$\langle E_{OP} \rangle = \frac{E_{\Pi}}{\langle \cos \theta \rangle} + E_{\Delta} \frac{1 + \langle \cos \theta \rangle}{2} + \rho \left[E_{\Pi} \left(1 - \frac{\langle \cos^2 \theta \rangle}{\langle \cos \theta \rangle} \right) + E_{\Delta} \frac{1 - \langle \cos \theta \rangle}{2} \right]. \quad (44)$$

Среднегодовое значение прихода солнечной энергии представляет сумму среднегодовых суточных или месячных приходов. Распределение по Туркменистану средней многолетней годовой суммы приходов энергии прямого солнечного излучения на нормальную к лучу поверхность и наибольшее значение прихода солнечной энергии на единицу поверхности составляет от 6000 до 6800 МДж/м² [5-7,9-13,19].

Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии. Преобразование солнечной энергии в электрическую является важнейшим направлением в решении энергетических, экономических, экологических и социальных проблем быта населения, промышленности и сельского хозяйства. Представляя получение энергии в наиболее удобной форме, фотоэлектрический способ преобразования солнечной энергии является не только надежным, долговечным и экологически чистым, но и сам может быть использован для улучшения экологической обстановки в месте использования, а в перспективе – и для регулирования экологических условий на больших территориях.

В настоящее время в качестве физической основы фотоэлектрического преобразования солнечной энергии принимается фотовольтаический эффект в полупроводниках, хотя существуют и развиваются и другие так называемые методы преобразования солнечной энергии в электрическую: термоэлектрический, термофотоэлектрический, фотоэлектрохимический и т.д., которые, однако, не получили широкого практического использования [4, 8,9,11,13,17,19].

Методика определения валового потенциала солнечной энергии зоны. В зависимости от объема и характера информации расчета валового потенциала солнечной энергии проводится по двум следующим вариантам.

1. В зоне расположена метеорологическая станция. Если имеются метеоданные по среднегодовому приходу солнечной

энергии в каждый месяц года $E_i = E_{Pi} + E_{Di}$, то расчет производится по формулам:

$$E = \sum_i E_i; \text{ при } i = 1, 2, \dots, 12, \quad (45)$$

где суммирование производится по всем месяцам в году. Валовой потенциал зоны равен:

$$W_B = E \cdot S \quad (46)$$

Значения E_i , E_{Pi} и E_{Di} (для $i=1, 2, \dots, 12$), E и W_B заносятся в таблицу. Кроме того, в таблицу заносятся (если имеются) метеоданные по среднеквадратичному разбросу прихода солнечной энергии (в абсолютных значениях или процентах).

В зоне отсутствует метеорологическая станция. Если отсутствуют метеоданные по приходу солнечной энергии, но по данным соседних метеорологических станций можно найти средние значения продолжительности солнечного сияния t_{Ci} для каждого месяца, то расчет месячного прихода солнечной энергии производится по формулам:

$$E_i = E_{Oi} \left(a_i + b_i \frac{t_{Ci}}{t_{Oi}} \right), \quad (47)$$

где a_i , b_i – эмпирические коэффициенты ($a_i + b_i = 1$), рассчитанные для 144 трапеции территории бывшего СССР на каждый месяц;

$$E_{Oi} = \langle I_M \rangle \langle \cos \theta \rangle t_{Oi}, \quad (48)$$

$$\langle I_M \rangle = 1000 \left(\frac{1000}{1360} \right)^{M-1} \text{ Вт/м}^2, \quad (49)$$

$$\langle \cos \theta \rangle = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \frac{\sin \omega_s}{\omega_s}, \quad (50)$$

$$M = \frac{2}{\sqrt{\langle \cos \theta \rangle^2 + 0.06 + \langle \cos \theta \rangle}}, \quad (51)$$

δ и ω_s , рад., – средний угол солнечного склонения (табл. 1) и угол восхода – захода (12) в i -й месяц соответственно;

$$t_{Oi} = 12 \cdot n_i \cdot \left(\frac{2\omega_s}{\pi} \right), \text{ ч/мес.}, \quad (52)$$

где n_i – число дней в i -м месяце [4, 8, 9, 11, 13, 17-19].

Теоретическое и методическое определения технического потенциала солнечной энергии региона.

Определения и обозначения. Технический потенциал солнечной энергии региона

– это среднеголетняя суммарная энергия, которая может быть получена в регионе от солнечного излучения в течение одного года при современном уровне развития науки и техники и соблюдении экологических норм.

Технический потенциал солнечной энергии представляет сумму технических потенциалов тепловой энергии и электрической энергии, получаемых соответствующим преобразованием солнечного излучения.

Технический потенциал региона представляет сумму технических потенциалов составляющих его зон. Для каждой зоны используются следующие обозначения:

W_T , кВт·ч/год, – технический потенциал солнечной энергии;

W_{TT} , кВт·ч/год, – технический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения;

W_{TF} , кВт·ч/год, – технический потенциал электроэнергии от солнечного излучения:

$$W_T = W_{TT} + W_{TF}; \quad (53)$$

S_C , м², – площадь, которая по хозяйственным и экологическим соображениям представляется целесообразной для использования солнечной энергии; она равна части q общей площади S , остающийся после вычитания площадей лесов, парков, сельскохозяйственных угодий и других территорий, на которых размещение установок затруднено или запрещено:

$$S_c = qS, \quad (54)$$

k_T – доля площади S_C , целесообразная для установки солнечных тепловых коллекторов; k_ϕ – доля площади S_C , целесообразная для установки солнечных фотоэлектрических батарей:

$$k_T + k_\phi = 1. \quad (55)$$

Значения q , k_T , k_ϕ являются специфическими для каждой зоны. В то же время на основе опыта некоторых промышленно развитых стран можно сделать оценку: $q \leq 0,01$; на основе существующего соотношения между используемой тепловой энергией и электроэнергией в большинстве регионов можно указать примерное соотношение: $k_T \approx 0,9$, $k_\phi \approx 0,1$

T_{Oi} , К, – среднемесячная температура окружающей среды в дневное время (время работы установок) [4, 8, 9, 11, 13, 17, 19].

Методика определения технического потенциала электроэнергии от солнечного излучения. Расчет технического потен-

циала электроэнергии производится по формуле:

$$W_{T\Phi} = \sum_i W_{T\Phi i} \quad (56)$$

где технический потенциал i -го месяца равен:

$$W_{T\Phi} = E_i \cdot k_{\phi} \cdot q \cdot S \cdot \eta_1 \cdot [1 - \chi(T_i - T_1)] \quad (57)$$

среднемесячная температура фотопреобразователей T_p , К, равна:

$$T_i = \frac{\frac{E_i}{t_{Ci}} \cdot [\alpha - \eta_1 \cdot (1 + \chi \cdot T_1)] + \langle \lambda \rangle \cdot T_{O_i}}{\langle \lambda \rangle - \frac{E_i}{t_{Ci}} \cdot \eta_1 \cdot \chi} \quad (59)$$

Порядок расчета. Фиксируются исходные данные: $k_{\phi} = 1 - k_T$ и следующие значения параметров фотоэлектрических солнечных батарей, характеризующие современный технический уровень:

$$A = 0,97; \eta_1 = 0,13; \chi = 0,004 \text{ K}^{-1};$$

$$T_1 = 289 \text{ K}; \langle \lambda \rangle = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}).$$

Рассчитывается среднемесячная температура T_i (49) с использованием значений E_p , полученных из справочника. Рассчитываются технический потенциал i -го месяца $W_{T\Phi i}$ (57). Суммированием по всем месяцам определяется потенциал $W_{T\Phi}$ (56). Значения T_i , $W_{T\Phi i}$, $W_{T\Phi}$ вносятся в таблицу 18.

Расчет технического потенциала солнечной энергии региона. В отдельную таблицу вносятся месячные значения технического потенциала, $W_{Ti} = W_{T\Phi i} + W_{T\Gamma i}$ ($i=1, 2, \dots, 12$), а также итоговое значение технического потенциала солнечной энергии зоны, W_T . После проведения расчета технического потенциала каждой зоны в соответствии с выше указанным разделом технический потенциал региона рассчитывается как сумма технических потенциалов его зон [4, 8, 9, 11, 13, 17-19].

Теоретическое и методическое определение экономического потенциала солнечной энергии в энергоэффективности. *Определения и обозначения.* Экономический потенциал солнечной энергии региона – это величина годовой выработки тепловой и электрической энергии в регионе от солнечного излучения, получение которой экономически оправдано для региона при существующем уровне цен на энергии, получаемую от традиционных источников, и соблюдении экологических норм.

Экологический потенциал солнечной энергии представляет сумму экономических потенциалов тепловой энергии и электрической энергии, получаемых соответствующим преобразованием солнечного излучения.

Экономический потенциал солнечной энергии представляет сумму экономических потенциалов составляющих его зон. Для каждой зоны используются следующие обозначения:

$W_{\mathcal{E}}$, кВт·ч/год, – экономический потенциал солнечной энергии;

$W_{\mathcal{E}T}$, кВт·ч/год, – экономический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения;

$W_{\mathcal{E}\Phi}$, кВт·ч/год, – экономический потенциал электроэнергии от солнечного излучения:

$$W_{\mathcal{E}} = W_{\mathcal{E}T} + W_{\mathcal{E}\Phi}; \quad (60)$$

T_{OK} , год, – срок окупаемости солнечной энергетической установки;

$T_{CЛ}$, год, – срок службы солнечной энергетической установки;

\mathcal{E} , ман, – экономический эффект использования солнечных энергетических установок;

\mathcal{E}_T , ман, – экономический эффект использования солнечных тепловых коллекторов;

\mathcal{E}_{Φ} , ман, – экономический эффект использования солнечных фотоэлектрических установок;

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_T + \mathcal{E}_{\Phi} \quad (61)$$

T_O , К, – среднегодовая температура окружающей среды в дневное время (время работы солнечных установок);

T_{Op} , К, – среднемесячная температура окружающей среды в течении i -го месяца, в дневное время (время работы солнечных установок);

C , ман./м² или долл./м², – удельная стоимость солнечной установки;

$r_{\mathcal{E}}$ – региональный экологический фактор источника солнечной энергии;

$r_{T\mathcal{E}}$ – региональный экологический фактор традиционного источника энергии;

C_p , ман./(кВт·ч) или долл./(кВт·ч) – удельная стоимость производства энергии от традиционного источника;

r_p – региональный фактор стоимости энергии от традиционного источника;

Q_p , кВт·ч/год, – годовой дефицит энергии в регионе или годовая дополнительная

потребность промышленного производства в энергии;

C_{Π} , ман./кВт·ч, – удельная цена потерь от недостатка энергии или удельная стоимость ценностей, производимых промышленностью;

m , кг/(чел.·сут.) – суточная норма потребления горячей воды на одного человека в быту;

p , Вт/чел., – норма средней электрической мощности на одного человека, необходимая для удовлетворения основных потребностей в бытовых потребностей.

Выражения для определения экономического потенциала электроэнергии от солнечного излучения [4-9,11-13,17,19].

Расчет экономического потенциала электроэнергии производится по формуле:

$$W_{\text{ЭФ}} = \sum_i W_{\text{ЭФ}i} \quad i = 1, 2, \dots, 12, \quad (62)$$

где суммирование производится по всем месяцам в году.

Экономический потенциал i -го месяца определяется выражениями:

$$W_{\text{ЭФ}i} = V_{\text{Ф}i} \cdot S_{\text{ЭФ}} \quad (63)$$

где

$$V_{\text{Ф}i} = E_{\text{Ф}i} \cdot \eta_1 \cdot [1 - \chi \cdot (T_i - T_1)] \quad (64)$$

$V_{\text{Ф}i}$, кВт·ч/(м²·мес.), – объем выработки энергии единицей площади солнечной батареи в i -й месяц;

$E_{\text{Ф}i}$, кВт·ч/(м²·мес.), – среднемноголетний приход солнечной энергии на единицу поверхности солнечной батареи в i -й месяц года;

$S_{\text{ЭФ}}$, м², – экономически целесообразная площадь установленных солнечных батарей.

Определение экономического потенциала проводится в двух вариантах, включающих использование либо плоских фотоэлектрических солнечных батарей либо солнечных батарей с концентраторами излучения.

В первом варианте определение потенциала проводится при условии, что солнечные батареи стационарно ориентированы под углом наклона к горизонту β .

При этом

$$E_{\text{Ф}i} = E_{\text{Н}i} = E_{\text{П}i} \frac{\omega_m \langle \cos \xi \rangle}{\omega_s \langle \cos \theta \rangle} + E_{\text{Д}i} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho (E_{\text{П}i} + E_{\text{Д}i}) \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (65)$$

$E_{\text{П}i}$ и $E_{\text{Д}i}$, а также $\langle \cos \theta \rangle$, находятся выше в разделе.

$$\langle \cos \xi \rangle = \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \frac{\sin \omega_m}{\omega_m} + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta,$$

причем, в полученной формуле 66, для каждого месяца принимается значение $\beta = \varphi - \delta$.

Во втором варианте определения потенциала проводится при условии, что солнечные батареи полностью ориентированы на Солнце. При этом

$$E_{\text{Ф}i} = \frac{E_{\text{П}i}}{\langle \cos \theta \rangle} + \frac{E_{\text{Д}i}}{K}, \quad (67)$$

где K – коэффициент концентрации солнечного излучения.

Экономический эффект использования солнечных фотоэлектрических установок. Расчет экономического эффекта солнечных тепловых установок производится по формуле:

$$\text{Э}_{\Phi} = \sum_i \text{Э}_{\Phi i} \quad i=1, 2, \dots, 12, \quad (68)$$

где суммирование производится по всем месяцам в году.

Экономический эффект i -го месяца определяется выражениями:

$$\text{Э}_{\Phi i} = T_{\text{СЛ}} [(W_{\text{ЭК}i} - Q_{\text{ПФ}i}) C_{\text{ТРЭ}} - I_{\text{ЭК}i}] - K_{\text{Ф}i} + T_{\text{СЛ}} \cdot Q_{\text{ПФ}i} \cdot C_{\text{П}}, \quad (69)$$

где $K_{\text{Ф}i}$, ман./мес., – капитальные затраты, отнесенные к i -му месяцу:

$$\sum_i K_{\text{Ф}i} = r_{\text{э}} \cdot C \cdot S_{\text{ЭФ}} \quad (70)$$

$I_{\text{ЭК}i}$ ман./мес. или долл./мес., – месячные издержки эксплуатации фотоэлектрических установок:

$$I_{\text{ЭК}i} = \gamma \cdot K_{\text{Ф}i} \quad (71)$$

где γ , 1/год, – норма издержек эксплуатации;

$Q_{\text{ПФ}i}$, кВт·ч/мес., – дефицит, или потребность промышленности в электроэнергии в i -й месяц.

После подстановки приведенных выражений в (67) и суммирования по месяцам получаем величину экономического эффекта в виде:

$$\text{Э}_{\Phi} = T_{\text{СЛ}} (W_{\text{ЭФ}} - S_{\text{ЭТ}} V_{\text{ФКР}}) C_{\text{ТРЭ}} + T_{\text{СЛ}} Q_{\text{ПФ}} (C_{\text{П}} - C_{\text{ТРЭ}}), \quad (72)$$

где $W_{\text{ЭФ}}$, кВт·ч/год, – экономический потенциал электроэнергии,

$$W_{\text{ЭФ}} = V_{\text{Ф}} S_{\text{ЭФ}}, \quad (73)$$

$$V_{\phi_i} = E_{\phi} \cdot \eta_1 \cdot [1 - \chi \cdot ((T) - T_1)] \quad (74)$$

V_{ϕ} , кВт·ч/(м²·год), – объем выработки энергии единицей площади солнечной батареи в год;

E_{ϕ} , кВт·ч/(м²·год), – среднееголетний приход солнечной энергии на единицу поверхности солнечной батареи в год:

$$E_{\phi} = \sum_i E_{\phi_i} \quad i=1, 2, \dots, 12, \quad (75)$$

$V_{\phi_{кр}}$, кВт·ч/(м²·год), – критическое значение удельной энергии возобновляемого источника, в частности, фотоэлектрической солнечной батареи, определяющее область экономической целесообразности его использования:

$$V_{\phi_{кр}} = (1 + \gamma \cdot T_{сл}) \cdot r_{\varepsilon} \cdot \frac{C}{T_{сл} \cdot \Pi_{трэ}}, \quad (76)$$

Срок окупаемости установки приобретает выражение:

$$T_{ок} = r_{\varepsilon} \cdot \frac{C}{V_{\phi} \cdot \Pi_{трэ} - \gamma \cdot r_{\varepsilon} \cdot C}. \quad (77)$$

Методика определения экономического потенциала электрической энергии от солнечного излучения [12-19].

В соответствии с определением, экономический потенциал электрической энергии от солнечного излучения в регионе $W_{\varepsilon\phi}$, кВт·ч/год, представляет энергию, которая может быть выработана в год соответствующими солнечными энергетическими установками при условии, что их экономический эффект положителен:

$$\varepsilon_{\phi} > 0 \quad (78)$$

При анализе выполнимости этого условия возможны два варианта [4-13, 17, 19].

Вариант I. Если срок службы фотоэлектрической солнечной установки больше или равен сроку ее окупаемости,

$$T_{сл} \geq T_{ок}, \quad (79)$$

т. е., если удельная выработка энергии тепловым коллектором больше ее критического значения,

$$V_{\phi} \geq V_{\phi_{кр}} \quad (80)$$

то в силу обычного условия

$$\Pi_{п} > \Pi_{трэ} \quad (81)$$

экономический эффект использования установок является положительным при любой

их площади. Это означает, что в данном случае целесообразно использовать максимально возможную площадь фотоэлектрических солнечных батарей, так что экономический потенциал электрической энергии от солнечного излучения оказывается совпадающим с техническим потенциалом, представленным в разделе выше:

$$W_{\varepsilon\phi} = W_{т\phi}, \quad (82)$$

Вариант II. Рассмотрим случай, когда срок службы установки меньше срока ее окупаемости

$$T_{сл} < T_{ок}, \quad (83)$$

т.е. удельная выработка энергии тепловым коллектором меньше ее критического значения,

$$V_{\phi} < V_{\phi_{кр}}, \quad (84)$$

то выполнение условия эффективности (67) соответствует следующему ограничению на полную мощность фотоэлектрических систем:

$$S_{\varepsilon\phi} (V_{\phi_{кр}} - V_{\phi}) \Pi_{трэ} < Q_{п\phi} (\Pi_{п} - \Pi_{трэ}), \quad (85)$$

и одновременно,

$$W_{\varepsilon\phi} > Q_{п\phi}, \quad (86)$$

При этом, если срок службы близок к сроку окупаемости, точнее, если

$$T_{ок} - T_{сл} \leq T_{сл} \cdot Q_{п\phi} \cdot \left(\frac{\Pi_{п}}{\Pi_{трэ}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{W_{т\phi}}, \quad (87)$$

т.е.

$$V_{\phi_{кр}} \geq V_{\phi} \geq \frac{V_{\phi_{кр}}}{1 + \frac{Q_{п\phi}}{W_{т\phi}} \cdot \left(\frac{\Pi_{п}}{\Pi_{трэ}} - 1 \right)} \quad (88)$$

то экономический потенциал, как в варианте I, равен техническому потенциалу:

$$W_{\varepsilon\phi} = W_{т\phi} \quad (89)$$

В области выполнения условия

$$V_{\phi} \leq \frac{V_{\phi_{кр}}}{1 + \frac{Q_{п\phi}}{W_{т\phi}} \cdot \left(\frac{\Pi_{п}}{\Pi_{трэ}} - 1 \right)}, \quad (90)$$

и одновременно условия (75), т.е.

$$V_{\phi} \geq \frac{V_{\phi_{кр}} \cdot \Pi_{трэ}}{\Pi_{п}}, \quad (91)$$

экономический потенциал тепловой солнечной энергии равен:

$$W_{\text{ЭФ}} = \frac{Q_{\text{ПФ}} \cdot \left(\frac{C_{\text{П}}}{C_{\text{ТРЭ}}} - 1 \right)}{\frac{V_{\text{ФКР}}}{V_{\text{Ф}}} - 1}, \quad (92)$$

Наконец, в области

$$V_{\text{Ф}} \leq \frac{V_{\text{ФКР}} \cdot C_{\text{ТРЭ}}}{C_{\text{П}}}, \quad (93)$$

Экономический потенциал равен нулю,

$$W_{\text{ЭФ}} = 0 \quad (94)$$

Условие (93) означает, что стоимость энергии, производимой солнечной фотоэлектрической установкой, настолько большая, что создаваемые с ее помощью товары промышленного производства по стоимости не покрывают расходов на электроэнергию, т.е. использование установки не целесообразно.

В различных зонах региона для солнечных фотоэлектрических установок даже одного типа могут выполняться различные условия определения экономического потенциала, что в значительной мере зависит от климатических условий. Соответственно этому значения экономических потенциалов зон определяется формулами (82), (92) или (94).

Таким образом, экономический потенциал экономической энергии от солнечного излучения в регионе $W_{\text{ЭФ}}$ имеет растущую зависимость от величины годового объема энергии, снимаемой с единицы поверхности солнечной батареи $V_{\text{Ф}}$, определяющуюся, как в случае теплового использования тремя параметрами: критическим значением удельного съема энергии $V_{\text{ФКР}}$ – формула (88), экономическим параметром потребности промышленности региона в энергии $Q_{\text{ПФ}} / W_{\text{ТФ}}$ и ценовым параметром промышленного производства, $C_{\text{П}} / C_{\text{ТРЭ}}$. Характерный вид этой зависимости представлен на рисунке 4 для экономического потенциала солнечной тепловой энергии.

Общая потребность региона в электрической энергии $Q_{\text{Ф}}$, кВт·ч/год, представляет сумму потребностей производства $Q_{\text{ПФ}}$, кВт·ч/год и бытовой потребности населения $Q_{\text{БФ}}$, кВт·ч/год:

$$Q_{\text{Ф}} = Q_{\text{ПФ}} + Q_{\text{БФ}} \quad (95)$$

$$Q_{\text{БФ}} = \rho N_{\text{Ф}} \quad (96)$$

где ρ , Вт/чел., – средняя норма потребления электроэнергии одним человеком в

быту (освещение, радио, телефон, водоснабжение, бытовые электроинструменты; $\rho = 120$ Вт/чел.); $N_{\text{Ф}}$ – число людей в регионе, нуждающихся в обеспечении быта электроэнергией, средняя требуемая площадь солнечных батарей на одного человека $s_{\text{Ф}}$, м²/чел., оказывается равной:

$$s_{\text{Ф}} = \frac{\rho}{I_{\text{Ф}} \cdot \eta_1 \cdot [1 - \chi \cdot (\langle T \rangle - T_1)]}, \quad (97)$$

где $I_{\text{Ф}}$, Вт/м², – среднегодовая интенсивность освещения солнечных батарей,

$$I_{\text{Ф}} = E_{\text{Ф}} / 8.76 \quad (98)$$

$\langle T \rangle$, К, – среднегодовая рабочая температура фотопреобразователей:

$$\langle T \rangle = \frac{\left(\frac{E}{t_c} \right) \cdot [\alpha - \eta_1 \cdot (1 + \chi \cdot T_1)] + \langle \lambda \rangle \cdot \langle T_o \rangle}{\langle \lambda \rangle - \frac{E}{t_c} \cdot \eta_1 \cdot \chi}, \quad (99)$$

$\langle T_o \rangle$, К, – среднегодовая температура окружающей среды в дневное время (время работы солнечных батарей).

Аналогично случаю с тепловыми коллекторами можно ввести понятие избытка экономического потенциала электрической энергии от солнечного излучения в регионе, $\Delta W_{\text{ЭФ}}$, представляющего разницу между экономическим потенциалом и общей потребностью региона в электрической энергии:

$$\Delta W_{\text{ЭФ}} = W_{\text{ЭФ}} - Q_{\text{Ф}} \quad (100)$$

Если $\Delta W_{\text{ЭФ}} > 0$, то регион является экономически обоснованным потенциальным донором электрической энергии; если $\Delta W_{\text{ЭФ}} < 0$, то регион является потенциально дефицитным по электрической энергии.

Расчеты по вариантам ориентации солнечных батарей и концентрации солнечного излучения.

1. Плоские солнечные батареи стационарно ориентированы под углом наклона к горизонту β . Фиксируются исходные данные характеризующие технический уровень, стоимость установки $C = 1000$ долл./м²; срок службы $T_{\text{СЛ}}$; значения удельных параметров: $C_{\text{П}}$, $C_{\text{ТР}}$, $I_{\text{ЭК}}$; факторы стоимости: $r_{\text{П}}$, $r_{\text{Э}}$, $r_{\text{ТР}}$; потребности промышленности в тепловой энергии $Q_{\text{ПФ}_i}$ ($i=1, 2, \dots, 12$); число нуждающихся людей $N_{\text{Ф}}$.

С использованием значений параметров прихода солнечной энергии, рабочей температуры фотопреобразователей и температу-

ры окружающей среды, полученных в предыдущих разделах, последовательно рассчитываются V_{ϕ_i} (64) для $i = 1, 2, \dots, 12$; V_{ϕ} (74) и $V_{\phi_{кр}}$ (75).

Анализом условий (81), (89), (91), (92), (94) определяется область определения экономического потенциала. Рассчитывается значение потенциала $W_{\text{эф}}$.

Рассчитываются $Q_{\text{БФ}}$ и $Q_{\text{Ф}}$ (98) и (97), и избыток потенциала $\Delta W_{\text{ЭТ}}$ (100).

II. Солнечные батареи с концентраторами излучения полностью ориентированы на Солнце. Исходные значения такие же как и по варианту I за исключением стоимости солнечной установки C , которая, в соответствии с практическими данными, для варианта II принимается равной $C/3$ при значении $K=13$, и температурного коэффициента КПД, который теоретически и практически оказывается меньше и принимается равным $\chi = 0,003 \text{ K}^{-1}$

После проведения расчетов E_{ϕ_i} (64) для $i=1,2,\dots,12$ и суммирования с получением годового прихода энергии E_{ϕ} остальные расчеты проводятся в том же порядке, как и по варианту I [4, 8,9-11,13-17,19].

Расчет экономического потенциала солнечной энергии региона. Сравнением значением экономического потенциала по представленным двум вариантам ориентации солнечных батарей и концентрации солнечного излучения выбирается наибольшее значение, которое принимается как экономический потенциал электроэнергии зоны $W_{\text{эф}}$ от солнечного излучения. Экономический потенциал солнечной энергии получается суммирование потенциалов тепловой и электрической энергии:

$$W_{\text{э}} = W_{\text{ЭТ}} + W_{\text{эф}} \quad (101)$$

После проведения расчета экономического потенциала каждой зоны экономический потенциал региона рассчитывается как сумма экономических потенциалов зон. Обобщенные результаты теоретических и методических расчетов приведены таблице 18.

5. Практические результаты расчетов солнечно-энергетических ресурсов Туркменистана

Валовый потенциал солнечной энергии. В соответствии с определением валового потенциала по формуле необходимо получение данных по месячному приходу солнечной энергии на горизонтальную поверхность E_i ($i=1, 2, \dots, 12$).

Рассчитанные и приведенные в таблице 18 значения E_i относятся к наиболее солнечным семи месяцам с $i = 3 - 9$. Для расчета прихода солнечной энергии в другие месяцы $i = 1, 2, 10, 11, 12$ целесообразно использовать данные по месячному приходу энергии на наклонную поверхность, в соответствии с методики.

Средний параметр угла наклона прямого солнечного излучения к нормали $\langle \cos \theta \rangle$ и месячный приход прямой солнечной энергии на нормально ориентированную поверхность

$$E_{\text{Ор}i} = \frac{E_{\text{П}i}}{\langle \cos \theta \rangle} = \frac{(1-\varepsilon)E_i}{\langle \cos \theta \rangle} = 2065,611 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{мес.}), \quad (102)$$

за 10 часов (с 7 до 17 ч) представлены в табл. 1.

Суммарное поступление солнечной энергии на единицу горизонтальной поверхности в год за 10 часов в сутки (7-17 ч), E , оказывается равным

$$E = \sum_i E_i = 1895,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год}), \quad (103)$$

а валовый потенциал Юго-восточной территории равен

$$W_{\text{В}} = ES = 1895,9 \cdot S \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}, \quad (104)$$

где S , м^2 , – площадь.

Технический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения. Исходные данные: температура горячей воды $T = 60^\circ\text{C}$; значение параметров солнечных тепловых коллекторов, характеризующие современный технический уровень: $F(\tau\alpha)=0,9$; $FU_L=0,005 \text{ кВт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$; экспериментально определенные среднемесячные температуры $T_{\text{О}i}$ и углы склонения δ для $i=2, 3, \dots, 10$ (таблица 18).

Рассчитанные значения продолжительности солнечного сияния в течение i -го месяца $t_{\text{С}i}$, ч/мес., число ясных и полупасмурных часов, продолжительность рабочего времени $t_{\text{р}i}$, ч/мес., а также месячных потенциалов, приходящихся на единицу отводимой площади в течение рабочего времени (с 7 до 17 ч),

$$\frac{W_{\text{ТТ}i}}{S_{\text{Т}}} = E_i F \left[(\tau\alpha) - U_L (T - T_{\text{О}i}) \cos(\varphi - \delta) \frac{t_{\text{р}i}}{E_i} \right] = 1296,779 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год} \quad (105)$$

где $S_{\text{Т}} = k_t q S$ – площадь, отводимая под солнечные тепловые установки, полученных с

использованием значений E_i (таблице 18), приведены в таблице 18 для наиболее солнечных месяцев года.

В осенне-зимние месяцы (октябрь–февраль) использование коллекторов с представленными техническими параметрами для получения горячей воды с температурой $T_r = 60^\circ\text{C}$, т.е. соответствующие W_{TT} равны нулю.

Суммирование по всем месяцам определяется потенциал солнечной тепловой энергии W_{TT} за 10 часов в сутки (7-17 ч):

$$W_{TT} = 1296,779 S_T, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}, \quad (106),$$

где S_T , м^2 , – площадь, отводимая под солнечные тепловые установки.

Технический потенциал электроэнергетики от солнечного излучения. Исходные данные: $k_\phi = 1 - k_T$; значения параметров фотоэлектрических солнечных батарей, характеризующие современный технический уровень: $\alpha = 0,97$; $\eta_1 = 0,13$; $\chi = 0,004 \text{ К}^{-1}$; $T_1 = 298 \text{ К}$; $\langle\lambda\rangle = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Рассчитанные значения среднемесячной рабочей температуры T_i ,

$$T_i = \frac{\frac{E_i}{t_{Pi}} [\alpha - \eta_1 (1 + \chi T_1)] + \langle\lambda\rangle T_{O_i}}{\langle\lambda\rangle - \frac{E_i}{t_{Pi}} \eta_1 \chi}, \quad (107)$$

с использованием значений T_{O_i} , E_i представлены в таблице 18. Рассчитанные значения месячных технических потенциалов, приходящихся на единицу отводимой площади,

$$\begin{aligned} \frac{W_{T\phi_i}}{S_\phi} &= E_i \eta_1 [1 - \chi (T_i - T_1)] = \\ &= 248,5547 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год} \end{aligned} \quad (108)$$

где $S_\phi = k_\phi \cdot q \cdot S$, м^2 , – площадь, отводимая под солнечные фотоэлектрические установки, приведенные в табл.

Суммированием по всем определяется потенциал $W_{T\phi}$:

$$W_{T\phi} = 248,5547 S_\phi, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}, \quad (109)$$

Технический потенциал солнечной энергии. Значение технического потенциала солнечной энергии равно (110):

$$\begin{aligned} W_T &= W_{TT} + W_{T\phi} = \\ &= 1296,779 S_T + 248,5547 S_\phi = \\ &= [1296,779 k_T + 248,5547 (1 - k_T)] q S, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}. \end{aligned}$$

Следует отметить, что W_{TT} представляет энергию в форме тепла, а $W_{T\phi}$ – энергию в электрической форме.

Экономического потенциала солнечной энергии. Экономический потенциал солнечной энергии региона – это величина годовой выработки тепловой и электрической энергии в регионе от солнечного излучения, получение которой экономически оправдано для региона при существующем уровне цен на энергию, получаемую от традиционных источников, и соблюдении экологических норм.

Экономический потенциал солнечной энергии представляет сумму экономических потенциалов составляющих его зон. Для каждой зоны используются следующие данные:

– экономический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения; экономический потенциал электроэнергии от солнечного излучения: срок окупаемости солнечной энергетической установки; срок службы солнечной энергетической установки; экономический эффект использования солнечных энергетических установок; экономический эффект использования солнечных тепловых коллекторов; экономический эффект использования солнечных фотоэлектрических установок; среднегодовая температура окружающей среды в дневное время (время работы солнечных установок);

– среднемесячная температура окружающей среды в течение i -го месяца, в дневное время (время работы солнечных установок); удельная стоимость солнечной установки; региональный экологический фактор источника солнечной энергии; региональный экологический фактор традиционного источника энергии; удельная стоимость производства энергии от традиционного источника; региональный фактор стоимости энергии от традиционного источника; годовой дефицит энергии в регионе или годовая дополнительная потребность промышленного производства в энергии; удельная ценапотерь от недостатка энергии или удельная стоимость ценностей, производимых промышленностью; суточная норма потребления горячей воды на одного человека в быту; норма средней электрической мощности на одного человека, необходимой для удовлетворения основных бытовых потребностей [4- 8,9,11-13,17-19].

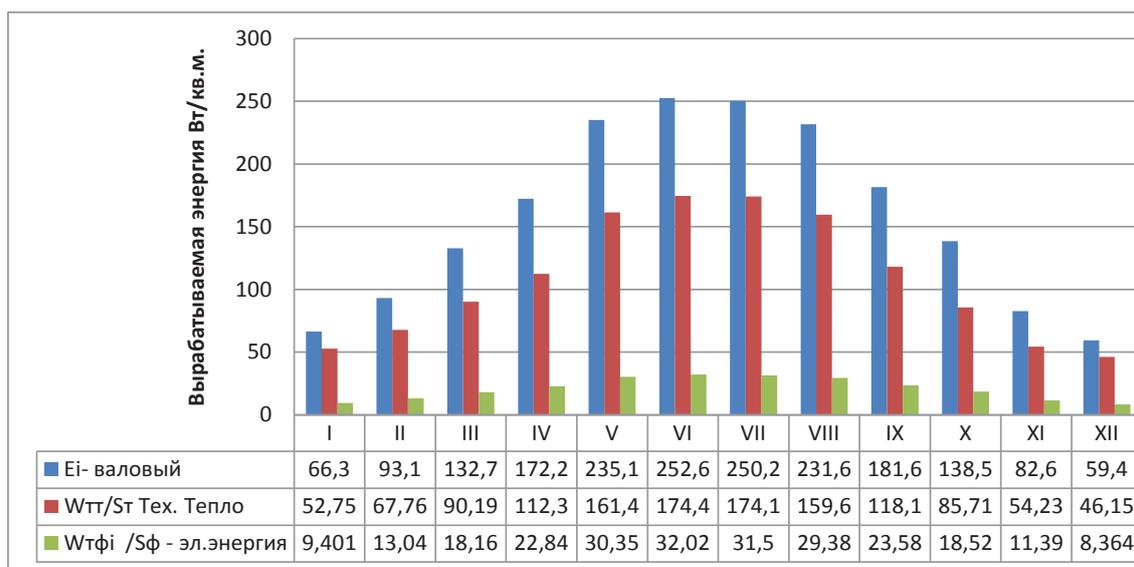


Рис. 5. Распределения валового и технического потенциалов солнечной энергии от преобразования в тепловую энергию и электрическую на Юго-Восточных Каркумах по месяцам на 1 метр квадратный

Определение экономического потенциала проводится при условии, что солнечные тепловые коллекторы стационарно ориентированы под углом наклона к горизонту β . Расчет экономического потенциала тепловой энергии проводится по формуле

$$W_{ЭТ} = \sum_i W_{ЭТi} \quad i=1, 2, \dots, 12, \quad (111),$$

где $i = 1, 2, \dots, 12$, суммирование производится по всем месяцам в году.

Экономический потенциал i -го месяца определяется выражениями:

$$W_{ЭТi} = V_{Ti} \cdot S_{ЭТ} \quad (112)$$

где

$$V_{Ti} = E_{Hi} \cdot F \left[(\tau\alpha) - U_L(T - T_{Oi}) \frac{t_{Ci}}{E_{Hi}} \right] = 1378,102 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год}). \quad (113)$$

V_{Ti} , кВт·ч/(м²·мес.), – объем выработки энергии единицей площади теплового коллектора в i -й месяц; $S_{ЭТ}$, м², – экономически целесообразная установленная площадь тепловых коллекторов. V_{Ti} – объем выработки энергии единицей площади теплового коллектора в i -й месяц, кВт · ч/(м²·мес.); E_{Hi} – суммарный месячный приход солнечной энергии, кВт·ч/(м²·мес.); $F(\tau\alpha) = 0,9$; $FUL = 0,005$ – значение параметров солнечных тепловых коллекторов, характеризующих современный технический уровень, кВт/(м·°С); T_{Oi} – среднемесячная температу-

ра окружающей среды в течение i -го месяца в дневное время (время работы солнечных установок), К; t_{Ci} – эмпирическая продолжительность солнечного сияния для данной местности в течение i -го месяца, ч/мес.; $S_{ЭТ}$ – экономически целесообразная установленная площадь тепловых коллекторов, м².

Основная проблема широкого использования солнечных тепловых установок связана с их экономической эффективностью и конкурентоспособностью по сравнению с традиционными системами, что определяется более высокой стоимостью энергии, вырабатываемой солнечными установками, чем получаемой при использовании традиционных установок. Срок окупаемости солнечной тепловой установки при различных сроках службы солнечных коллекторов в зависимости от изготовителя их в России и зарубежных странах представлены ниже.

Срок окупаемости установки горячего водоснабжения равен:

- при стоимости 200-500 долл. США 1,04–2,8 года (российского производства);
- при стоимости 500-1000 долл. США 2,80–6,6 года (производства зарубежных фирм).

Срок окупаемости системы отопления и горячего водоснабжения равен:

- при стоимости 600-1200 долл. США 3,5–8,4 года (российского производства);
- при стоимости 1500-2000 долл. США 11,8–19,5 года (производства зарубежных фирм).

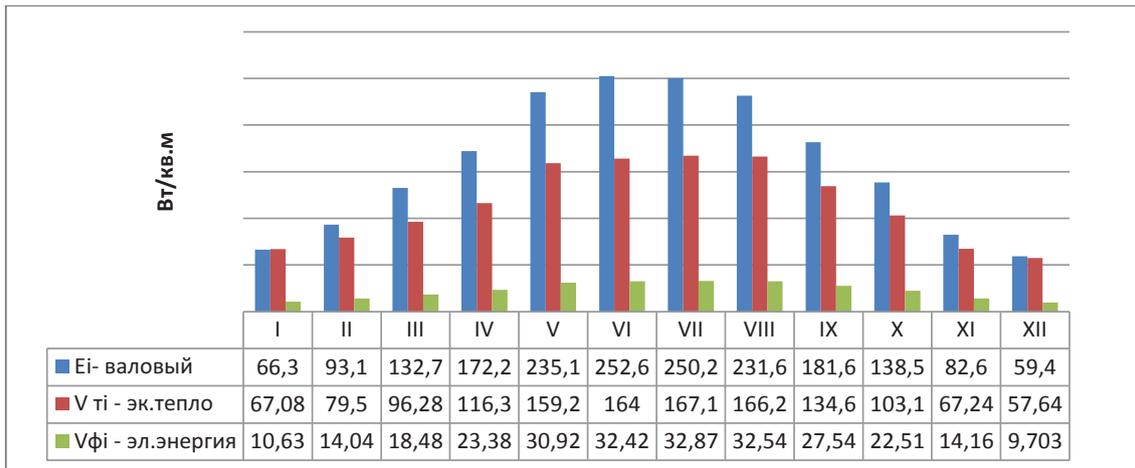


Рис. 6. Средние удельные энергетические параметры солнечной тепловой V_t , фотоэлектрической V_f установки в Туркменистане в течение года

Определение экономического потенциала тепловой энергии от солнечного излучения. В соответствии с определением экономический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения в региона $W_{ЭТ}$, кВт·ч/год, представляет энергию, которая может быть выработана в год соответствующими солнечными энергетическими установками при условии, что их экономический эффект положителен, она равна 588,56 кВт·ч/год при КПД 0,5.

В различных зонах региона для солнечных энергетических установок даже одного типа могут выполняться различные условия определения экономического потенциала, что в значительной мере зависит от климатических условий [4-13].

Таким образом, экономический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения в регионе $W_{ЭТ}$ имеет растущую зависимость от величины годового объема энергии, снимаемой с единицы поверхности теплового коллектора, определяющуюся тремя параметрами: критическим значением удельного съема энергии, экономическим параметром потребности промышленности региона в энергии и ценовым параметром промышленного производства. Данная зависимость в действительности является единой для любого нового источника энергии, замещающего традиционное топливо, в том числе как для тепловой энергии, так и для электрической энергии от солнечного излучения.

Определение экономического потенциала электроэнергии от солнечного излучения. Расчет экономического потенциала

электроэнергии производится аналогично как и в вышеизложенном варианте.

Экономический потенциал i -го месяца определяется выражением:

$$W_{Эfi} = V_{fi} \cdot S_{Эф} \quad (114)$$

где V_{fi} , кВт·ч/(м²·мес.), – объем выработки энергии единицей площади солнечной батареи в i -й месяц равен 248,5 кВт·ч/(м²·год); E_{fi} , кВт·ч/(м²·мес.), – среднегодовое количество прихода солнечной энергии на единицу поверхности солнечной батареи в i -й месяц года равен 1895,9 кВт·ч/(м²·год); $S_{Эф}$, м², – экономически целесообразная площадь установленных солнечных батарей.

Экономический потенциал солнечной энергии получается путем суммирования потенциалов тепловой и электрической энергии:

$$\begin{aligned} W_{ЭТ} &= W_{ЭТ} + W_{ЭТ} = \\ &= 1296,44S_T + 248,5S_{Эф}. \end{aligned} \quad (115)$$

В результате определение потенциала проводится при условии, что солнечные батареи стационарно ориентированы под углом наклона к горизонту $\beta = 30, 45, 60, 75, 90$.

При этом

$$\begin{aligned} E_{\phi i} = E_{Hi} = E_{Pi} \frac{\omega_m \langle \cos \xi \rangle}{\omega_s \langle \cos \theta \rangle} + E_{Di} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \\ + \rho (E_{Pi} + E_{Di}) \frac{1 - \cos \beta}{2}, \end{aligned} \quad (116)$$

E_{Pi} и E_{Di} , а также $\langle \cos \theta \rangle$, где $\langle \cos \theta \rangle$ – средний параметр угла наклона прихода прямого солнечного излучения на нор-

мально ориентированную поверхность; $\langle \cos \xi \rangle$ – угловой параметр, находится по формуле (117):

$$\langle \cos \xi \rangle = \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \frac{\sin \omega_m}{\omega_m} + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta,$$

причем для каждого месяца принимается значение $\beta = \varphi - \delta$; $E_{\Pi i}$ – среднееголетний приход прямого потока солнечной энергии на единицу горизонтальной поверхности в i -й месяц года, кВт·ч/(м²·мес.); $E_{\text{Д}i}$ – среднееголетний приход рассеянной солнечной энергии на единицу горизонтальной поверхности в i -й месяц года, кВт·ч/(м²·мес.); ρ – коэффициент отражения (альбедо); θ – угол между направлениями зенита и Солнца (угол падения на горизонтальную поверхность); ξ – угол между направлением на Солнце и нормалью к наклонной поверхности (угол падения на наклонную поверхность), ориентированной на юг; δ – угол склонения, т.е. угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора; φ – широта местности; ω – часовой угол движения Солнца, равный 0 в солнечный полдень; каждый час времени t соответствует 15° долготы, причем значения часового угла до полудня считаются положительными; β – угол наклона к горизонту.

Определение оптимального угла наклона солнечных модулей в юго-восточных районах Туркменистана. В таблице 1-3 представлены значения параметра пересчета интенсивности прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность $I_{\text{Н1}}/I_{\text{П}} = \cos \xi / \cos \theta$ в зависимости от часового угла солнца ω и угла склонения δ при различных углах наклона β для северной широты $\varphi = 45^\circ$, т.е. примерно для средней широты Туркменистана.

Результаты расчета для определения оптимального угла наклона солнечных модулей в Юго-восточных Каракумах с учетом реального поступления солнечной энергии включает определение полного потока солнечной энергии на наклонную поверхность в течение определенного периода времени (например, за месяц) при различных углах наклона посредством интегрирования по времени. Расчеты показывают наиболее эффективное значение $\beta = 60^\circ$ для января, февраля, ноября, декабря; $\beta = 30^\circ$ с апреля по сентябрь; $\beta = 45^\circ$ – март, октябрь [3].

Экологический потенциал от преобразования солнечной энергии в электриче-

скую. Экологический потенциал ВИЭ – часть технического потенциала, преобразование, которого в полезную используемую энергию экологической целесообразно при данном уровне сокращения вредных выбросов в окружающую среду от ископаемого, органического топлива при преобразованию тепловую, электрическую энергию и других видов энергии от оборудования, установок, станции и транспортных средств и др. загрязнителей.

В выражениях, определяющих экономическую эффективность, не учитывается влияние вводимых установок на окружающую природу, на социальные условия жизни и деятельности человека, что в целом определяется как экологические условия. Возобновляемые источники энергии по сравнению с традиционными обладают важными преимуществами, заключенным в возможности обеспечения экологической чистоты вводимых установок, а в некоторых случаях – возможности улучшения экологической обстановки.

Экологический потенциал солнечной энергии представляет сумму экономических потенциалов тепловой энергии и электрической энергии, получаемых соответствующим преобразованием солнечного излучения.

Одной из форм учета влияния вводимых источников энергии на экологию региона может быть введение в удельную стоимость получаемой энергии регионального экологического фактора источника, учитывающего относительные расходы на компенсацию вредных последствий ввода единицы энергии того или иного источника в регионе. Если удельная стоимость источника энергии в производстве, то удельная стоимость с учетом коэффициент регионального экологического фактора > 1 для источника, приводящего к ухудшению экологической обстановки в регионе, и коэффициент регионального экологического фактора < 1 – для источника, улучшающего экологическую обстановку в регионе; для одного и того же источника экологического коэффициента в различных регионах может изменять величину, становиться больше или меньше единицы.

Таким образом, с учетом регионального фактора стоимости топлива и регионального экологического фактора срок окупаемости и экономический эффект использования

солнечной установки в общем случае определяются включением коэффициент регионального экологического фактора, механизм чистого развития Киотского протокола Марракешского соглашения [5,9,11-13].

Ожидаемое сокращение выбросов различных вредных веществ в окружающую среду в Юго-Восточной части Туркменистане при использовании солнечной фотоэлектрической станции составит: при годовой выработке с 1 кв. м 248,5 кВт ч/год, экономия расхода топлива 99,4 кг у.т./год, сокращение выбросов: диоксид серы SO₂ – 2,06; оксид азота NO_x – 1,11; оксид углерода CO – 0,144; метан CH₄ – 0,303; двуокись углерода CO₂ – 0,158; твердых веществ – 0,216 кг/год; от преобразовании тепловой энергии – 1296,8 кВт ч/год, экономия расхода топлива 518,7 кг у.т./год, сокращение выбросов SO₂ – 10,78; NO_x – 5,8; CO – 0,754; CH₄ – 1,58; CO₂ – 829,34; твердых веществ – 1,13 кг/год [4-9,12-14].

Эмпирические ресурсы солнечной энергии регионов Туркменистана. Территория Туркменистана достаточно велика и расположена между 35°0' и 42°48' северной широты и 52°27' и 66°41' восточной долготы. Протяженность с запада на восток – 1100 км, с юга на север – 650 км. Площадь государства – 491.2 тыс. кв. км., естественно, что солнечный радиационный режим в

веляятах (областей) отличается, поэтому мы исследовали четыре веляята: северный – Дашогузский; восточный – Лебапский; центральный – Ахалский; западный – Балканский [1,4,5-11].

Преобразование солнечной энергии с помощью фотопреобразователей зависит от валового, технического потенциала солнечной радиации.

В своих расчетах мы использовали метеорологические данные, взятые из справочников по климату [2,3,6-11].

Метеорологические данные обработаны по выше приведенной формуле. Мы условно перемещаем фотопреобразователь (ФЭП) по регионам страны и получаем прогнозную среднюю мощность ФЭП (Вт/м²) с 1 м² по месяцам года. Проводим обработку метеорологических данных на ЭВМ, разлагая их в ряды Фурье, и получаем эмпирическую формулу радиационных режимов по регионам страны.

Обработав многолетние данные по солнечной радиации, получили выражение средней солнечной радиации (I) в течение года (τ) в виде рядов Фурье.

Для северного Дашогузскоговеляята:

$$I = 466,25 + 317,8 \cos(0,26\tau - 0,058) + 24 \cos(0,52\tau + 1,0) + 11,2 \cos(0,78\tau - 0,244) \quad (118).$$

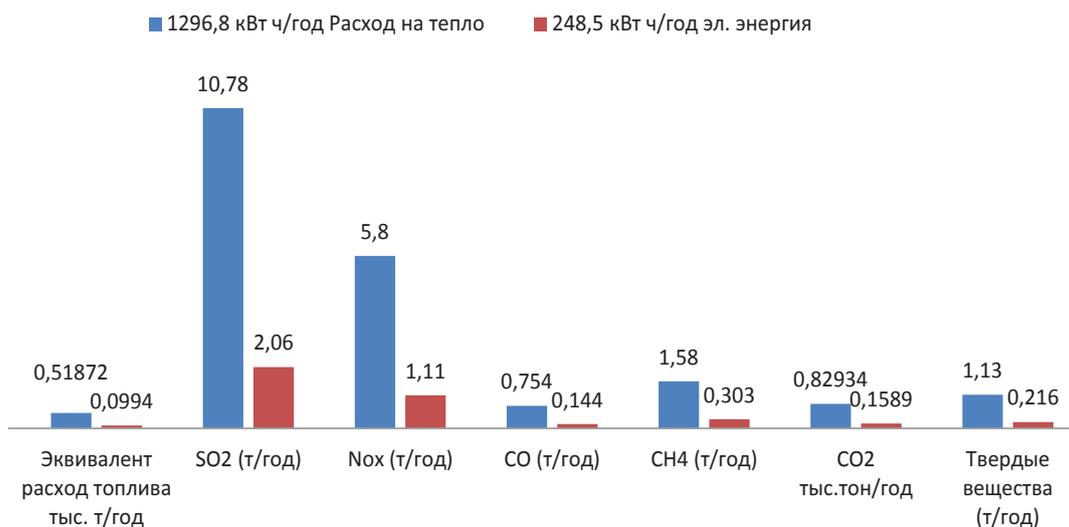


Рис. 7. Экологический потенциал сокращения вредных веществ от преобразования солнечной энергии в тепловую, электрическую в течение года

Таблица 18

Обобщенные результаты теоретических и методических расчета
солнечно-энергетических ресурсов на Юго-Восточной части Туркменистана

Обозначения	I	II	III	IV	V	VI	VII
E_i	66,3	93,1	132,7	172,2	235,1	252,6	250,2
T_{pi}	48	95	161	244	321	382	395
T_{oi}	2,3	5,6	11,8	19,9	26,7	31,2	32,9
ε	0,14	0,24	0,25	0,21	0,29	0,31	0,32
$\cos\xi-30$	0,806529	0,866509	0,862173	0,865993	0,801173	0,759098	0,776498
$\cos\xi-45$	0,832138	0,870255	0,824525	0,792824	0,694109	0,635707	0,659351
$\cos\xi-60$	0,690434	0,725384	0,65085	0,613214	0,497181	0,430982	0,457738
$\cos\xi-75$	0,501963	0,53138	0,433089	0,392068	0,266577	0,197065	0,225121
$\cos\xi-90$	0,279492	0,301382	0,185993	0,144365	0,017916	-0,0502	-0,02275
T_i	2,3285992	5,620333	11,81717	19,91477	26,7154	31,21394	32,91337
$\cos\theta$	0,453609	0,571392	0,660156	0,76728	0,793599	0,797334	0,797241
ρ	0,26	0,26	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23
E_{pri}	34,9	52,4	69,8	103,5	165,3	193,2	217,8
E_{di}	31,4	40,7	62,9	68,7	69,8	59,4	32,4
ω	20,6	20,8	28,5	30,5	36,7	39,9	38,6
δ	-21,2	-12,8	-2,2	9,7	18,8	23,3	21,6
$\cos\beta$	0,484609	0,606838	0,742313	0,864209	0,932732	0,958078	0,949185
E_{ni}	89,9109	117,0348	150,0748	183,5561	236,1967	243,3109	245,1051
W_{Σ}	66,3	93,1	132,7	172,2	235,1	252,6	250,2
W_{mm}/Sm	52,75282	67,76032	90,18992	112,295	161,4342	174,3975	174,1171
$W_{m\phi i}/S\phi$	9,400619	13,04121	18,16067	22,84135	30,35329	32,02179	31,49644
V_{mi}	67,07868	79,501	96,28017	116,2965	159,1553	163,9984	167,0985
$V_{\phi i}$	10,62845	14,03512	18,48095	23,37692	30,91627	32,41661	32,87226
E_{opi}	125,6985	123,8309	150,7597	177,299	210,3341	218,5959	213,406

Обозначения	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма	Ср.мес.
E_i	231,6	181,6	138,5	82,6	59,4	1895,9	157,9917
T_{pi}	371	322	272	148	56	2815	234,5833
T_{oi}	31	25,3	17,8	9,8	4,2	218,5	18,20833
ε	0,28	0,21	0,24	0,19	0,18	2,86	0,238333
$\cos\xi-30$	0,836835	0,834686	0,867759	0,817548	0,799558	9,894356	0,82453
$\cos\xi-45$	0,746669	0,775051	0,853669	0,832826	0,834021	9,351147	0,779262
$\cos\xi-60$	0,557997	0,58616	0,694799	0,683099	0,701139	7,288979	0,607415
$\cos\xi-75$	0,331529	0,357565	0,488867	0,487102	0,520765	4,73309	0,394424
$\cos\xi-90$	0,082605	0,10475	0,249821	0,25811	0,305118	1,856605	0,154717
T_i	31,01316	25,31185	17,81065	9,81161	4,22198849	218,692825	18,22440208
$\cos\theta$	0,782965	0,685028	0,610359	0,485439	0,431036	7,835438	0,652953
ρ	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	2,82	0,235
E_{pri}	183,9	138,5	97,7	52,3	30,2	1339,5	111,625
E_{di}	47,7	43,1	40,8	30,3	29,2	556,4	46,36667
ω	33,6	33,2	24,4	22,5	18,5		
δ	14,2	3,1	-8,4	-18,4	-23,3	4,4	0,366667
$\cos\beta$	0,900916	0,800864	0,665853	0,526634	0,45233		
E_{ni}	244,4018	211,5609	178,265	115,9782	81,40134	2096,797	174,733
W_{Σ}	231,6	181,6	138,5	82,6	59,4	1895,9	157,9917
W_{mm}/Sm	159,5985	118,1383	85,70597	54,23476	46,1543	1296,779	108,0649
$W_{m\phi i}/S\phi$	29,38382	23,57855	18,52278	11,39037	8,363791	248,5547	20,71289
V_{mi}	166,191	134,5569	103,061	67,24095	57,64336	1378,102	114,8418
$V_{\phi i}$	32,53644	27,53722	22,50801	14,16117	9,702668	269,1721	22,43101
E_{opi}	212,975	209,428	172,4558	137,8258	113,0022	2065,611	172,1343

Для восточного Лебапского вейаята:

$$I = 478,1 + 317,5 \cos(0,26\tau + 0,059) + 23,7 \cos(0,52\tau + 0,691) + 11,2 \cos(0,78\tau - 1,46) \quad (119).$$

Для центрального Ахалского вейаята:

$$I = 519,1 + 320,3 \cos(0,26\tau + 0,05) + 11,8 \cos(0,52\tau + 0,938) + 16,0 \cos(0,78\tau + 0,402) \quad (120).$$

Для западного Балканского вейаята;

$$I = 542,57 + 276,8 \cos(0,26\tau - 0,066) + 15,9 \cos(0,52\tau + 0,586) + 2,9 \cos(0,78\tau - 0,08) \quad (121).$$

В логарифмическом виде выражение солнечной радиации (Y) соответственно можно записать:

для Дашогузского вейаята:

$$Y = 83,8245 \times \ln(x) + 375,34 \quad (122);$$

для Лебапского вейаята:

$$Y = 88,3235 \times \ln(x) + 421,666 \quad (123);$$

для Ахалского вейаята:

$$Y = 84,2095 \times \ln(x) + 377,567 \quad (124);$$

для Балканского вейаята:

$$Y = 59,8417 \times \ln(x) + 443,496 \quad (125).$$

Используя технический потенциал солнечной энергии для фотопреобразователей с КПД 10-12% (мы взяли среднем 11%), то выражения (118-121) получают вид.

Для северного Дашогузского вейаята:

$$I = 51,28 + 34,96 \cos(0,26\tau - 0,058) + 2,64 \cos(0,52\tau + 1,0) + 1,23 \cos(0,78\tau - 0,244) \quad (126).$$

Для восточного Лебапского вейаята:

$$I = 52,59 + 34,92 \cos(0,26\tau + 0,059) + 2,61 \cos(0,52\tau + 0,691) + 1,23 \cos(0,78\tau - 1,46) \quad (127).$$

Для центрального Ахалского вейаята:

$$I = 57,1 + 35,23 \cos(0,26\tau + 0,05) + 1,29 \cos(0,52\tau + 0,938) + 1,7 \cos(0,78\tau + 0,402) \quad (128).$$

Для южного Балканского вейаята;

$$I = 59,66 + 30,45 \cos(0,26\tau - 0,066) + 1,7 \cos(0,52\tau + 0,586) + 0,32 \cos(0,78\tau - 0,08) \quad (129).$$

В логарифмическом виде выражение солнечной радиации (Y) соответственно можно записать:

для Дашогузского вейаята:

$$Y = 9,22 \times \ln(x) + 41,29 \quad (130);$$

для Лебапского вейаята:

$$Y = 9,71 \times \ln(x) + 46,38 \quad (131);$$

для Ахалского вейаята:

$$Y = 9,26 \times \ln(x) + 41,53 \quad (132);$$

для Балканского вейаята:

$$Y = 6,58 \times \ln(x) + 48,78 \quad (133).$$

В итоге получены эмпирические формулы с учетом валового, технического потенциалов солнечной энергии по регионам Туркменистана, с помощью которых можно прогнозировать энергетический потенциал гелиотехнических установок, оборудования, сооружений и т.д.

Используя технический потенциал солнечной энергии для фотопреобразователей с КПД 10-12% (мы взяли среднем 11%), и преобразовав выбросы CO₂ – грамм на 1 м² то получаем эмпирическую зависимость о возможности сокращения выброса CO₂ с одного квадратного метра в граммах CO₂ – эквивалента при преобразовании солнечной энергии в электрическую и выражения (118-121) получит вид:

для северного Дашогузского вейаята:

$$I = 512,8 + 349,6 \cos(0,26\tau - 0,058) + 26,4 \cos(0,52\tau + 1,0) + 12,3 \cos(0,78\tau - 0,244) \quad (134);$$

для восточного Лебапского вейаята:

$$I = 525,9 + 349,2 \cos(0,26\tau + 0,059) + 26,1 \cos(0,52\tau + 0,691) + 12,3 \cos(0,78\tau - 1,46) \quad (135);$$

для центрального Ахалского вейаята:

$$I = 571 + 352,3 \cos(0,26\tau + 0,05) + 12,9 \cos(0,52\tau + 0,938) + 17 \cos(0,78\tau + 0,402) \quad (136);$$

для западного Балканского вейаята:

$$I = 596,6 + 304,5 \cos(0,26\tau - 0,066) + 17 \cos(0,52\tau + 0,586) + 3,2 \cos(0,78\tau - 0,08) \quad (137);$$

Графически представлено на рис. 8.

В логарифмическом виде выражение солнечной радиации (Y) соответственно можно записать;

для Дашогузского вейаята:

$$Y = 92,2 \times \ln(x) + 412,9 \quad (138).$$

для Лебапского веляята:

$$Y = 97,1 \times \ln(x) + 463,8 \quad (139).$$

для Ахалского веляята:

$$Y = 92,6 \times \ln(x) + 415,3 \quad (140).$$

для Балканского веляята:

$$Y = 65,8 \times \ln(x) + 487,8 \quad (141).$$

В итоге получены эмпирические формулы с учетом валового, технического и экологического потенциалов солнечной энергии по регионам Туркменистана, с помо-

щью которых можно математически описать энергетическое и экологическое прогнозирование. Это поможет дать прогноз по веляятам Туркменистана о возможности экономии электроэнергии и сокращения выбросов CO₂ с одного квадратного метра в г CO₂ – экв. при преобразовании солнечной энергии в электрическую, а также рассчитать энергетический потенциал гелиотехнических установок, оборудования, сооружений в условиях Туркменистана приведены в таблице 19, 20.

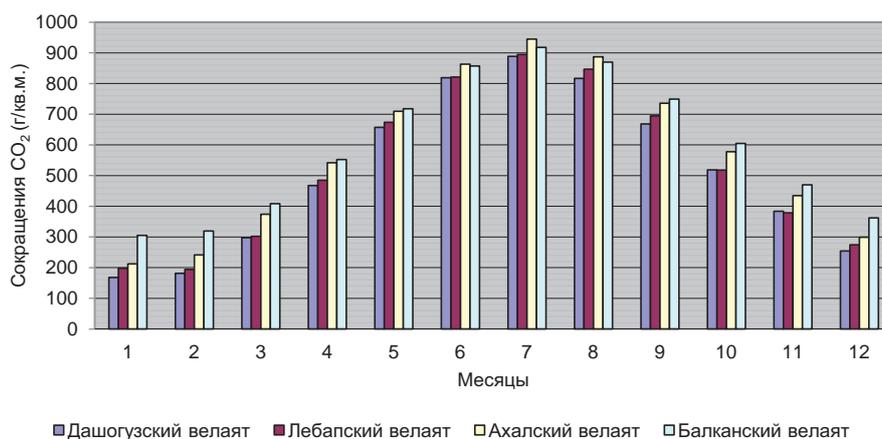


Рис. 8. Экологический потенциал солнечного фотопреобразователя по веляятам (областям) Туркменистана сокращения CO₂ с 1 м² по месяцам года

Таблица 19

Экологические потенциал солнечно-энергетических установок в Туркменистане

Наименование установки	Эквивалент кВт час	SO ₂ (т/год)	NO _x (т/год)	CO (т/год)
Биогаз установка 26 МДж	7,22	6,00267E-05	3,23221E-05	4,19767E-06
Гелиокомплекс 1,8 т у.т.	2094,94	0,017417234	0,00937851	0,001217988
Безотходный гелиобиотехнологический комплекс 584,1 МДж	162,24	0,001348856	0,000726307	9,43256E-05
Гелиустановка выкашивания хлореллы 30 тыс. т у.т.	34915713,3	290,2876164	156,3087165	20,29983331
Гелиосушиллки 540 млн. т у.т	628482857,1	5225,177242	2813,556977	365,3970099
Гелиоопреснители 2512 МДж	697,76	0,005801144	0,003123693	0,000405674

Наименование установки	Эквивалент кВт час	CH ₄ (т/год)	CO ₂ (т/год)	Твердые вещества
Биогаз установка 26 МДж	7,22	8,81512E-06	0,004617	6,29651E-06
Гелиокомплекс 1,8 т у.т.	2094,94	0,002557776	1,339787	0,001826983
Безотходный гелиобиотехнологический комплекс 584,1 МДж	162,24	0,000198084	0,103758	0,000141488
Гелиустановка выкашивания хлореллы 30 тыс. т у.т.	34915713,3	42,62964996	22329,82	30,44974997
Гелиосушиллки 540 млн. т у.т	628482857,1	767,3337209	401936,7	548,0955149
Гелиоопреснители 2512 МДж	697,76	0,000851916	0,446242	0,000608512

Таблица 20

Эколого-экономические потенциалы
от использования солнечных установок в Туркменистане

Название установки	Технические показатели	Экономические показатели	Экологические показатели
Гелиосушилки	Для дыни – 80 м ³ объем, удельная производительность по сухой продукции 0,8-1,0 кг/м ² сушеной дыни за сутки	Использование гелиосушилок для переработки сельскохозяйственной продукции позволит сэкономить за 20 лет 540 т у.т., ориентировочная стоимость – 7000\$ США, срок окупаемости 2–4 года; для кишмиша соответственно – 4200 м ³ ; 0.3 кг/м ² ; 3000 \$, 3–4 года	Использование гелиосушилок для переработки сельскохозяйственной продукции позволит сэкономить за 20 лет 540 млн. т у.т., уменьшит выбросы CO ₂ на 1310,7 Тг
Гелиоводонагреватели	В среднем на одного сельского жителя требуется 0,55 МВт в год, с помощью солнечного коллектора можно получить 85 л горячей воды температурой 60–65°C	Использование солнечной энергии для нагрева воды позволит сэкономить за год с 1 м ² водонагревательной установки 0.15 т у.т., за летний световой день при плотности солнечной радиации 1100 Вт/м ² . В этих случаях можно обеспечить 80% годовой тепловой нагрузки, 20% – за счет теплового дублера	Использование солнечной энергии для нагрева воды позволит сэкономить за год с 1 м ² водонагревательной установки 0.15 т у.т., уменьшит выбросы CO ₂ на 0,364 Мг
Гелиоопреснители	Годовая производительность с 1 м ² установки при средней глубине заполнения 0,16 м, с предельной концентрацией соли 0,158 кг/л составляет 1,2 м ³ /м ² год	Расход теплоты на опреснение 1м ³ морской воды составляет 2512 МДж (0.60 Гкал)	Расход теплоты на опреснение 1м ³ морской воды составляет 2512 МДж (0.60 Гкал), или сокращение выбросов CO ₂ на 0,146 Мг
Гелиоустановка биогаз	Объем выделяющегося газа составляет 340 л/кг сухого вещества, характеристики выделяемого газа: 60–70% метана, 20–40% углекислого газа, 1–3% серной кислоты, примерно по 1% на водород, кислород, сульфид водорода, азота и оксид углерода	Внедрение новых технологий для получения биогаза позволит получить теплотворную способность биогаза 20–26 мДж/м ³	Внедрение новых технологий для получения биогаза позволит уменьшить выбросы метана в атмосферу примерно на 4,4т CO ₂ эквивалента
Гелиоустановка для выращивания микроводорослей (хлореллы, спирулина, сцендесмуса)	Химический анализ сухого вещества хлореллы показывает, что в нем содержится до 45% белка, 20–30% углеводов, 7–10% жира и до 23 наименований аминокислот, в том числе триптофан и метонин	Экономия топлива на заданный объем производства биомассы хлореллы за счет использования солнечной энергии по предварительной оценке составит 30 тыс. т у.т. в год, Расход электрической энергии на производство 1м ³ кондиционной биомассы в гелиоустановке не превышает 70 кВт ч, что в 8 раз меньше, чем на обычных установках с искусственным обогревом и освещением	Экономия топлива на заданный объем производства биомассы хлореллы за счет использования солнечной энергии по предварительной оценке составит 30 тыс. т у.т. в год, уменьшит выбросы CO ₂ на 0,072 Тг

Из рассмотренного научного аналитического обзора, теоретических, методических и практических расчетных базы данных для ГИС технологий по использования солнечной энергии в Туркменистане можно сделать следующие **выводы**:

1. На основании теоретических исследований и методических расчетов солнечно – энергетических ресурсов с учетом интенсивности солнечного излучения, альbedo, географических, климатических и неблагоприятных погодных условий получены энергетические потенциалы на 1 квадратный метр Юго-Восточной территорий Туркменистана составляет: валовый потенциал – 1895,9 кВт ч/ м² год; технический потенциал преобразования в тепловую энергию – 1296,8 кВт ч/ м² год, в электрическую энергию – 248,5 кВт ч/ м² год. Подробные результаты расчетов по месяцам приведены в таблице 18.

2. Техничко-экономические и теоретические расчеты экономических потенциалов позволят составить технико-экономическое обоснования при строительстве солнечно-энергетических станции, установок, сооружений для внедрения дадут возможность экономии органического топлива от преобразования в тепловую – 1378,1 кВт ч/ год; в электрическую энергию – 269,2 кВт ч/год.

3. Экологические потенциал солнечно-энергетических установок в Туркменистане представлены в таблице 20. Ожидаемый экологический потенциал сокращение выбросов различных вредных веществ в окружающую среду в Юго-восточной территории Туркменистана при использовании солнечной фотоэлектрической станции составит: при годовой выработке с 1 кв. м 248,5 кВт ч/год, экономия расхода топлива 99,4 кг у.т./год, сокращение выбросов: диоксид серы SO₂ – 2,06; оксид азота NO_x – 1,11; оксид углерода CO – 0,144; метан CH₄ – 0,303; двуокись углерода CO₂ – 0,158; твердых веществ – 0,216 кг/год; от преобразовании тепловой энергии – 1296,8 кВт ч/год, экономия расхода топлива 518,7 кг у.т./год, сокращение выбросов SO₂ – 10,78; NO_x – 5,8; CO – 0,754; CH₄ – 1,58; CO₂ – 829,34; твердых веществ – 1,13 кг/год. На основании теоретических и исследований работ использования солнечно-энергетических установок можно составить проектные предложения для экобизнеса продажи квот углеродному фонду Всемирного банка.

4. На основании математических преобразований получены эмпирические формулы с учетом валового, технического, экологический потенциалов солнечной энергии по регионам Туркменистана, с помощью, которых можно прогнозировать энергетический, экономические и экологические потенциалы гелиотехнических установок, оборудования, сооружений для составления ГИС технологических базы данных областей Туркменистана.

5. Учитывая результаты выше изложенных расчетов потенциалов солнечно – энергетических ресурсов в Туркменистане, позволит решать энергетические и социально-экономические проблемы регионов, удаленных от централизованных энергосистем, поселков, населенных пунктов, объектов дайханских и пастбищных хозяйств, формально находящихся в зонах централизованного энергоснабжения, но экономически труднодоступных местностях. Другим существенным фактором использования солнечных энергетических ресурсов даст возможность сохранения экологической безопасности и составить ГИС технологическую карту для улучшения экосистему региона.

Список литературы

1. Бердымухамедов Г.М. Государственное регулирование социально-экономического развития Туркменистана. Том 1. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2010.
2. Бабаев А.Г. Проблемы освоения пустынь. – Ашхабад: Изд-во «Бильм», 2012. – 340 с.
3. Байрамов Р., Сейткурбанов С. Опреснение с помощью солнечной энергии / под ред. В.А. Баума. – Ашхабад: Бильм, 1977. – 148 с.
4. Берштейн Л.С., Целых А.Н. Гибридная экспертная система с вычислительным модулем для прогноза экологических ситуаций. Труды международного симпозиума “Интеллектуальные системы – ИнСис – 96”. – М., 1996.
5. Дьяченко Н.В. Использование ГИС-технологий. – URL: <http://homepage.buryatia.ru/rmeic/gis.htm>
6. Израэль Ю.А. Возможности сохранения (стабилизации) современного климата с помощью новых технологий // Биосфера. – 2011. – Т. 3, № 1. – С. 1-5.
7. Марчук Г.И. Математическое моделирования в проблемах окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
8. Козлов В.Б. Энергетика и природа. – М.: Мысль, 1982. – 92 с.
9. Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М., 1998.
10. Нефедова Л.В. Структура базы данных по малой гидроэнергетике в рамках разработки ГИС «Возобновляемые источники энергии России» Труды 6-й между. н/т конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 4. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 314-322.

11. Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю. Геоинформационные системы по возобновляемой энергетике Труды 6-й между. н/т конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 4. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 314-322.
12. Пенджиев А.М. Геоинформационная технология использования возвратных вод Туркменского озера «Алтын асыр» // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. – 2014. – № 13. – С. 129-150.
13. Пенжиев А.М. Изменение климата и возможности уменьшения антропогенных нагрузок: монография. LAMBERT AcademicPublishing, 2012.
14. Пенджиев А.М. Экологические проблемы освоения пустынь: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 226 с.
15. Пенджиев А.М. Планирование развития фотоэнергетики в Туркменистане // Экологическое планирование и управление. – 2007. – № 4.
16. Пенджиев А.М. Ожидаемая эколого-экономическая эффективность использования фотоэлектрической станции в пустынной зоне Туркменистана // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. – 2007. – № 5. – С. 135-137.
17. Пенджиев А.М., Пенжиев А.А. Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды и устойчивого развития на основе возобновляемой энергетики в Центральной Азии // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. – 2012. – № 1. – С. 139-156.
18. Пенджиев А.М., Астанов Н.Г., Пенжиев М.А. Использование солнечно-энергетических установок в заповедных зонах Туркменистана для улучшения аридной экосистемы // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – № 12 (104). – С. 26-32.
19. Пенджиев А.М. Возобновляемая энергетика и экология (обобщение статей) // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 08 (148). – С. 45-78.
20. Пенджиев А.М. Механизм чистого развития: приоритеты энергоэффективности в Туркменистане // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 10 (78). – С. 142-148.
21. Пенджиев А.М. Перспективы альтернативной энергетики и ее экологический потенциал в Туркменистане // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 9 (77). – С. 131-139.
22. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане: монография. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012.
23. Струков Д.Р. Проект системы медико-экологического мониторинга окружающей среды на базе ГИС. – URL: www.gisa.ru
24. Смирнов Б.М. Атмосфера Земли и энергетика. – М.: Знание, 1979.
25. Федоров М.П., Романов М.Ф. Математические основы экологии. – СПб.: Издательство СПбГТУ, 1999. – 156 с.
26. Использование солнечной энергии / под ред. профессора Рыбаковой Л.Е. – Ашхабад: Ылым, 1985.
27. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Ч. 1-16. Вып. 1-30. – Л., 1989. – 502 с.
28. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы. – Л.: Гидрометиздат, 1989.
29. Первое Национальное сообщение по рамочной конвенции ООН об изменении климата. Фаза 2. Нарращивание потенциала в приоритетных областях экономики Туркменистана в связи с изменением климата. Проект GF/2328-2724-4313 ЮНЕП / ГЭФ Туркменистан. – Ашхабад, 2006.
30. URL:<http://www.gis.Su>

УДК 615.471:617.7

БИОТЕХТОНИКА – НАУКА О СИНТЕЗЕ БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**Попечителей Е.П.***Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
Санкт-Петербург, e-mail: eugeny_p@mail.ru*

Рассмотрены истоки формирования представлений о биотехнических системах, связанные с расширением познавательных потребностей человека и его естественных ограничений как природного объекта. Определена фундаментальная проблема нового направления как проблема организованного объединения биологических объектов различных видов с техническими устройствами. Выделено несколько исследовательских направлений такого объединения, позволяющих считать их основой для формирования новой научной концепции, объединяющей все проблемы синтеза БТС в рамках единой теории.

Ключевые слова: познавательный процесс, естественные ограничения биологического объекта, биотехнические системы, проблемы подключения технической системы к биологическому объекту, основы синтеза биотехнических систем.

BIOTEKTONIKA - SCIENCE OF SYNTHESIS BIOTECHNICAL SYSTEMS**Popechitelev E.P.***Saint Petersburg State Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, e-mail: eugeny_p@mail.ru*

We consider the sources of the formation of ideas about the biotechnical systems associated with the expansion of cognitive needs of man and his natural limitations as a natural object. It defines the fundamental problem of a new direction as a problem of organized association of biological objects of various kinds of technical devices. It highlighted several areas of research such an association to enable them to be considered the basis for the formation of a new scientific concept, which unites all the problems of the synthesis of the BPS in a single theory.

Keywords: cognitive process, natural limitations of a biological object, biotechnical system, technical system problems connecting to a biological entity, the foundations of synthesis of biotechnical systems.

Введение

Прошло более 30 лет с момента формулировки термина «биотехнические системы» (далее БТС), который был введен профессором В.М. Ахутиным на международной конференции по бионике в сентябре 1975 года в городе Варна (Болгария). Он определил этот класс систем как «совокупность биологических и технических элементов, объединенных в единую функциональную систему целенаправленного поведения». Он же сформулировал и основные их преимущества БТС перед чисто техническими и биологическими системами, которые, по его мнению, «состояли в сочетании положительных качествах этих систем при взаимной компенсации их недостатков» [1, 2]. При этом главное внимание в работах проф. Ахутина В.М. и сотрудников возглавляемого им Особого Конструкторского Бюро Биологической и Медицинской кибернетики (ОКБ БИМК), было обращено на системы, в которых главным биологическим объектом, включенным в структуру БТС, был человек. Основной функцией такого человека предусматривалось управление технической системой, которая должна была выполнять определенные задачи с внешними по отношению к БТС объектами – объектами познавательного интереса че-

ловека. Такие системы относились к так называемым эргатическим системам, и были предметом изучения других научных школ, занимавшихся проблемами создания человеко-машинных систем – систем «человек-машина-среда» (СЧМС).

Однако уже в первой монографии «Биотехнические системы. Теория и проектирование», выпущенной под редакцией проф. В.М. Ахутина издательством Ленинградского государственного университета в 1981 году, круг систем биотехнического типа был существенно расширен. В него были включены системы медицинского назначения, в которых в качестве внешнего объекта выступал человек – пациент: описывались диагностические комплексы, позволяющие определить заболевание или нарушения процессов жизнедеятельности разного вида организмов, и терапевтические системы, в которых на пациента оказывались воздействия с целью коррекции и восстановления его состояния. Не остались в стороне системы лабораторных клинических исследований, которые позволяют изучать состояние организма по анализу биологических проб, взятых из его внутренней среды. Далее к области БТС были отнесены вычислительные комплексы по обработке медико-биологической и иной информации

в интерактивном режиме, в котором сам человек определял направления обработки экспериментальных данных на каждом последующем шаге на основании анализа результатов на предыдущем этапе. В поле зрения специалистов по биотехническим системам попали средства реабилитации, экстракорпоральная, протезирующая и имплантируемая техника, связанные с временной или постоянной заменой утраченных естественных органов и систем организма их техническими аналогами. А затем к биотехническим стали относить такие проблемы как: создание новых материалов для вживления в организм, управление средой обитания живых систем, которая оказывается активной, а иногда агрессивной по отношению к ним, контроль продуктов питания, синтез новых лекарственных препаратов, биологических добавок и тому подобных веществ. Изменилось отношение ко всему животному миру, включая задачи биологии, зоологии, ботаники и других наук, изучающих или использующих живые системы, для которых разрабатываются специальные технические средства. Все такие средства следует относить к биотехническим системам, так как при решении всех этих задач требуется учет свойств и параметров живых систем, к которым они подключаются.

Такое расширение не было случайным, оно отражало тот факт, что биологический объект (БО) в структуре и назначении БТС может занимать разное положение, и способы подключения технических средств к нему существенно зависят от роли и задач, решаемых БО. В статье проведен анализ тенденций по расширению этого понятия, предложена его авторская трактовка, в соответствии с которой сформулировано новое направление в области научных исследований и образования – «*биотехтоника*», объ-

единяющее все исследования в этой области в виде единой научной концепции, имеющей фундаментальный характер, – «объединение живого с неживым (искусственным)».

Познавательные интересы человека и его естественные ограничения

Изучая внешний по отношению к себе мир и приспособлявая его в соответствии со своими потребностями, человек сталкивается с множеством проблем познания этого мира, с преодолением многих трудностей, встречающих его на этом пути [3], [4]. Можно представить весь процесс изучения в виде своеобразной диалоговой системы (рис. 1), в которой человек-исследователь (Исс) при желании получить представления о свойствах объекта исследования (ОБИ) должен иметь определенные связи с ОБИ, по которым он отправляет «запрос» на интересующее его свойство и получает «ответ» об этом свойстве. Эти запросы и ответы могут реализовываться разными способами, с помощью разных приемов и методов.

Считается доказанным, что само взаимодействие может быть вещественным, энергетическим и информационным, поэтому и связи должны быть приспособлены к передаче вещества, энергии или информации. Сама передача осуществляется через окружающую оба этих элемента среду, причем имеется в виду, что это не вообще вся природная среда, а та ее часть, которая находится в ближнем окружении Исс и ОБИ, т.е. реальная среда (РС) – среда непосредственно в месте проведения экспериментов. Эта среда активна и оказывает влияние на оба биологических объекта, находящихся в рассматриваемом диалоге, но и эти биообъекты также оказывают влияние на характеристики РС (см. рис. 1, стрелки от РС к ОБИ и Исс).

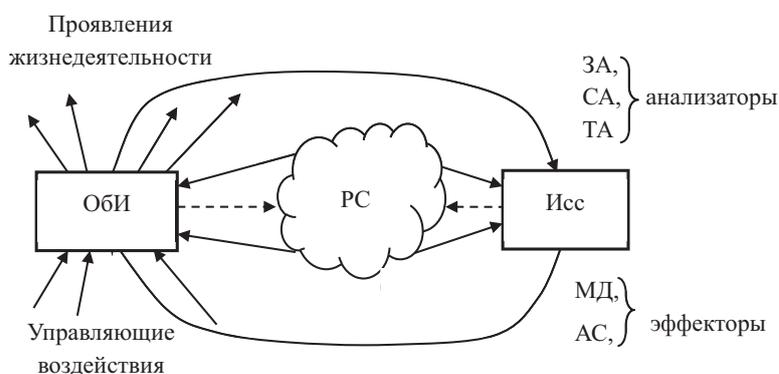


Рис. 1. Модель взаимодействия исследователя с объектом исследования

ОБИ в реальной среде проявляет свою деятельность в разных физических полях, в параметрах которых содержатся сведения о характеристиках и свойствах ОБИ. Однако человек непосредственно реагирует только на такие сигналы, которые воспринимаются его сенсорными анализаторами – органами чувств. Из всех сенсорных анализаторов только зрительный (ЗА), слуховой (СА) и тактильный (ТА) анализаторы обладают свойствами, которые можно использовать для такого взаимодействия. Остальные анализаторы пока трудно приспособить для этих целей, хотя известны варианты их ограниченного использования. Таким образом, существуют *естественные ограничения возможностей по восприятию* поступающей информации, содержащей необходимые для профессиональной работы человека сведения (данные).

Аналогичная ситуация возникает и при анализе возможностей Исс по непосредственному воздействию на ОБИ с целью изменения его состояния. Только две возможности предоставила природа человеку для этих целей: моторную деятельности (МД), связанную с выполнением определенных движений, и акустический сигнал (АС) в виде организованной речи. Следовательно, и здесь необходимо учитывать *естественные ограничения ограниченность способов непосредственных воздействия* со стороны человека на ОБИ. Подобные ограничения характерны для всех представителей живых систем, причем их свойства разнообразны, поэтому подключение к ним технических систем носит весьма специфический характер [5].

На рис. 2 приведена одна из известных моделей процесса познания [3, 4], которая

отражает в нем место и роль средств познания, искусственно создаваемых человеком.

При непосредственном контакте Исс с ОБИ (пунктирная линия на рис. 2), человек может подключить все свои сенсорные и эффекторные образования, чтобы получить полный образ ОБИ. Однако, как уже было отмечено, этого оказывается недостаточно, что говорит об ограниченности возможностей Исс по получению знаний об ОБИ.

Для расширения своих представлений об ОБИ (объект познания) человек (субъект познания) *вынужден* создавать специальные средства познания (СП), которые расширили бы его возможности как при получении информации о свойствах ОБИ, так и при оказании воздействий на ОБИ. Но управлять этими средствами Исс может, только используя свои естественные эффекторы, а воспринимать данные о свойствах ОБИ, используя только три носителя: оптические изображения в видимом спектре, акустические сигналы и тактильные прикосновения. Таким образом, средства познания, которые являются *искусственными, созданными самим человеком и отражающими его представления о том, что и как он хочет изучать*, представляют собой средства *опосредованного изучения* ОБИ. И хотя такие средства предоставляют новые возможности для изучения ОБИ, все равно они не позволяют получить исчерпывающее представление о нем.

Таким образом, Исс формирует в своем сознании только модель ОБИ, которая отражает изучаемый объект, но с тех сторон, которые нужны в данный момент Исс. А сам субъект познания взаимодействует не с самим объектом познания, а с его моделью, которую сам и строит на основании собственных представлений.

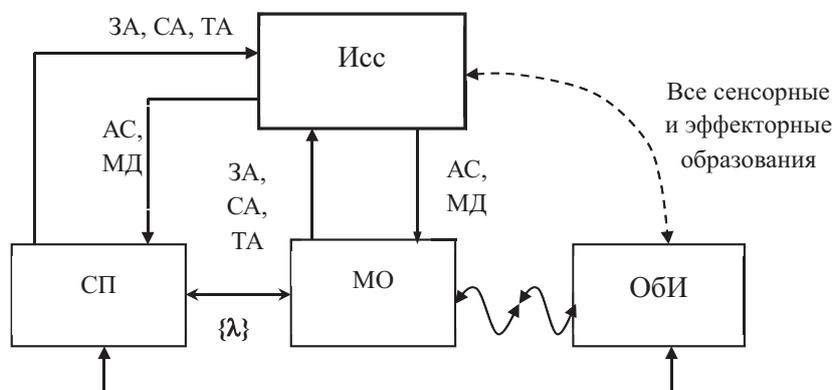


Рис. 2. Место и роль средств познания в диалоге «Исс-ОБИ»

Это очень важное представление об ограниченности знаний Исс об ОБИ. На основании собственных наблюдений и информации, полученной с помощью средств познания, человек формирует в своем сознании только модель объекта познания. Расширение возможностей средств познания, создание новых средств, методов и технологий для изучения ОБИ способствует более глубокому его изучению, но такие процессы только улучшают качество модели, оставая за ее пределами непознанное.

Из всего выше сказанного следует один важный вывод: все, что делает человек, создавая различные технические средства, подчинены его интересам и **отражают его свойства**, как разработчика, изготовителя и пользователя, поэтому в схему на рис. 2 должен быть включен еще один объект – модель объекта познания (МО).

Каналы информационного взаимодействия биотехнических систем

В информационно-технологическом мире, созданном Человечеством, сам человек может выполнять многие функции такие как: анализ и отбор поступающей информации; опознавание и обобщение информации; фильтрация избыточной и устаревшей информации; оценка степени приоритета тех или иных данных; уточнение и получение недостающих данных; формирование и передача команд в исполнительные устройства и т.д. Как следует из этого небольшого перечисления, большая часть функций связаны с информационными процессами, и здесь роль человеческого фактора нельзя преувеличить. Он отвечает за постановку задач и анализ результатов, втянут в процесс выявления взаимовлияния как активный участник, обладающий специфическими свойствами. И он – ответственный за постановку экспериментов, «носитель целостного восприятия, сохранения целостности при расчленении проблемы, при распределении работ, носитель системы ценностей, критериев принятия решений» [4], [5]. При этом невозможно обойтись:

– без обеспечения оптимальных условий для работы и жизнедеятельности, а, следовательно, использование систем диагностики и управления состоянием, обучения, профориентации и профотбора, тестирования и т.п.

– без создания специальных технических средств, позволяющих подключить к

человеку искусственные (технические) комплексы управления сложными системами.

В литературе имеется большое количество изданий, посвященных сравнению возможностей человека и современных технических средств (см., например, [2], [5], [7] и др.). Во всех этих изданиях подчеркивается мысль о том, что человек имеет существенные преимущества перед техническими системами, которые не позволяют исключить его из процесса управления. Но и технические системы за счет скорости, точности и качества выполнения многочисленных операций превосходят человека. Вот здесь и возникает проблема в сочетании положительных качествах этих систем при взаимной компенсации их недостатков. Естественные ограничения возможностей Исс заставляют разработчиков технических средств уделять особое внимание таким средствам, которые позволяют подключить Исс непосредственно к исследовательскому процессу. При этом должны в полной мере учитываться свойства Исс как постановщика задач, управляющего звена всего процесса изучения и ответственного за принятие решений после анализа исследовательской информации. Поэтому необходимы специальные преобразования:

– формы входных воздействий со стороны исследовательских комплексов на человека;

– специальные преобразования его решений в управляющие сигналы, которые поступают от человека в исполнительные устройства.

Такие средства определены в работах проф. В.М. Ахутина как «*логические фильтры преобразователи*» [2], но, на наш взгляд, более точным является рассмотрение таких средств как специфических *каналов информационного взаимодействия* (КИВ) Исс и технической системы [7], [8]. Такие каналы сами по себе являются биотехническими устройствами, так как включают дополнительные узлы технического типа и элементы подсистем организма человека (сенсорные и эффекторные элементы). От реализации КИВ зависит качество работы Исс и достоверность всех информационных процессов в единой биотехнической системе.

При разработке КИВ необходимо выполнить несколько задач [7], [9]:

– обеспечить восприятие информации через сенсорные системы человека, в каче-

стве которых на сегодня могут быть использованы зрительный, слуховой и тактильный анализаторы; т.е. при синтезе КИВ должны быть использованы знания о свойствах этих типов сенсорных систем;

– обеспечить возможность передачи решений Исс по выбору методов и способов управления техническими устройствами, включив для этого в состав КИВ манипуляторы, рассчитанные на реализацию движений Исс; т.е. при синтезе КИВ должны быть использованы знания о свойствах эффекторных систем человека:

– подготовить исследователя к выполнению всех работ, сопровождающих исследовательский процесс: он должен обладать необходимыми навыками и научными знаниями, характеристиками памяти, способами обработки информации, умением управлять процессами мышления, формировать и принимать ответственные решения; здесь большое значение приобретают профориентация и профотбор человека на работу в качестве Исс:

– иметь системы контроля состояния Исс в реальном масштабе времени, чтобы предотвращать его возможные ошибки, вовремя выводить его из контура управления, когда накапливается усталость и его функциональное состояние не соответствует рабочим режимам, решать проблемы организации труда – периодов работы и отдыха.

Из всего выше сказанного следует один важный вывод: все, что делает человек, создавая различные технические средства, подчинены его интересам и *отражают его свойства*, как разработчика, изготовителя и пользователя.

Все искусственные, созданные человеком, средства познания внешнего мира и управления им в соответствии со своими представлениями сегодня связываются с формированием в биосфере новой составляющей – ‘биотехносфера’, которая является *продуктом деятельности человечества*, создающего средства изучения внешнего мира и самого человека, как его элемента. Это некоторая интегральная совокупность всех искусственных устройств, созданных человеком для осуществления трудовой деятельности, с помощью которых происходит развитие всех реальных процессов, протекающих в биосфере. Появилось представление о производственном и экологическом факторах антропогенного происхождения, т.е. формируемых в ходе трудовой деятель-

ности человека. Эти факторы способны вызывать негативные изменения здоровья человека, непосредственно занятого в производственном процессе, и окружающей среды, в которой протекает его жизнь и осуществляется трудовая деятельность. Можно привести множество примеров подобного влияния человеческой деятельности на природные объекты.

Известно несколько научных направлений, связанных с изучением человека и его потенциалов. Но для определения научного направления, которое было бы связано с разработкой любых биотехнических систем такой термин отсутствует. Введенный выше термин «*биотехтоника*», который объединяет в себе два хорошо известных термина – бионика и техника, на наш взгляд, наилучшим образом соответствует этому направлению научных исследований. Предметом изучения биотехтоники становится уже упомянутая выше проблема оптимизации взаимосвязи живого с неживым, а результатом – синтез оптимизированных биотехнических систем целенаправленного поведения.

Высказанные выше соображения привели к введению в новый перечень направлений высшего профессионального образования нового направления «Биотехнические системы и технологии» [10], который одобрен Министерством образования и науки РФ. По этому направлению подготовлен новый стандарт ГОСЗ, в котором среди обязательных дисциплин предусматривается несколько дисциплин медико-биологического цикла, такие как «Системный анализ медико-биологических исследований», «Биофизические и биохимические основы жизнедеятельности», «Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий» и ряд других. Назначение этих дисциплин – дать техническому специалисту представление о свойствах биологического объекта как объекта изучения и управления, к которому подключаются технические устройства. На наш взгляд, определенный объем таких знаний необходим любому специалисту по любому техническому направлению образования, так как все они разрабатывают и создают технические системы и комплексы, которыми управляет человек. Такая дисциплина с условным названием «Биотехнические проблемы инженерной деятельности» может быть включена, например, как обязательная в гумани-

тарный или общеинженерный цикл подготовки.

Заключение

Рассмотренные представления о причинах и особенностях объединения в одной целесообразной системе биологических и технических элементов позволяет с иных позиций рассматривать взаимодействие этих объектов. Возрастает роль представлений о их свойствах и необходимости их взаимной адаптации, при этом важны знания о свойствах биологических объектов, включаемых в биотехническую систему, и возможности техники и технологий на конкретном этапе развития человечества. Новые возможности такого соединения постоянно изменяются по мере развития технологических потенциалов, а это позволяет расширять возможности Человека по изучению, освоению и приспособлению окружающего мира к своим потребностям. Изучение и раскрытие еще неизвестных, и поэтому неиспользуемых возможностей биотехнических систем дает основание для формулировки в технических науках нового научно-технического направления исследований, которое можно определить, например, как *биотехтоника*.

Список литературы

1. Ахутин В.М. Бионические аспекты синтеза биотехнических систем. – В кн.: Информационные материалы: Кибернетика. – 1976. – № 4 (92). – С. 3-26.
2. Биотехнические системы. Теория и проектирование / Ахутин В.М., Немирко А.П., Першин Н.Н., Пожаров А.В., Попечителей Е.П., Романов С.В. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 220 с.
3. Попечителей Е.П. Системный анализ медико-биологических исследований. – Саратов: Научная книга, 2009. – 368 с.
4. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа: учебник. – Изд. 2-е, перераб и доп. – СПб: Изд-во СПб ГТУ, 1999.
5. Попечителей Е.П. Человек в биотехнической системе. – СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006. – 85 с.
6. Общая физиология сенсорных систем. Руководство по биологии и биофизике / В.И. Гуткин, С.П. Серегин, С.Д. Долженков, Н.А. Корневский. Курск. гос. тех. ун-т. – Курск: ОАО «Курск», 2009. – 302 с.
7. Падерно П.И., Попечителей Е.П. Надежность и эргономика биотехнических систем / под общ. ред. проф. Е.П. Попечителя. – СПб.: ООО «Техномедиа» / Изд-во «Элмор», 2007. 264 с.
8. Попечителей Е.П. Каналы взаимодействия биологических и технических звеньев в биотехнических системах // Известия ЛЭТИ. – Вып. 318. – 1982. – С. 14-22.
9. Попечителей Е.П. «Функциональная система» медико-биологических исследований // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – Воронеж. – Т. 8, № 4. – 2009. – С. 806-816.
10. Попечителей Е.П. Становление медико-технического образования в России // Медицинская техника. – 2009. – №2. – С. 1-8.

УДК 681.51

НЕЛИНЕЙНО ПРЕОБРАЗОВАННАЯ ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ПРЯМОГО АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Шевко Д.Г.

Амурский государственный университет, Благовещенск, Россия, e-mail: shevko@mail.ru

В статье рассматривается метод построения гибридной нелинейно преобразованной системы прямого адаптивного управления.

Ключевые слова: адаптивное управление, гибридная система.

NONLINEAR TRANSFORMED HYBRID SYSTEM OF DIRECT ADAPTIVE CONTROL

Shevko D.G.

Amur State University, Blagoveshchensk, Russia, e-mail: shevko@mail.ru

The paper deals with the method of constructing the hybrid nonlinear transformed system of direct adaptive control.

Keywords: adaptive control, hybrid system.

Гибридные системы прямого адаптивного управления (ГСПАУ) с явной эталонной моделью (ЭМ) составляют большой класс адаптивных систем управления, в которых желаемое движение задается конкретным физически реализованным устройством, построенным с использованием традиционных методов синтеза адаптивных систем автоматического управления [1 – 9].

За основу работы контура адаптации ГСПАУ принимается вектор рассогласования $e(t)$. Поскольку желаемое качество процесса в основном контуре ГСПАУ определяется динамикой ЭМ, то при разработке адаптивной системы управления, а также ее технической реализации не требуется каких-либо дополнительных измерителей качества функционирования основного контура ГСПАУ, что придает системе относительную простоту, делая ее доступной и удобной для практического применения.

Постановка задачи. Рассмотрим объект управления (ОУ), описываемый уравнением

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t) + f(t), \quad (1)$$

$$y(t) = L^T x(t),$$

и дискретный адаптивный регулятор со следующей структурой:

$$u_k = \chi_{1,k} r_k + \chi_{2,k} y_k, \quad y_k = y(t_k), \quad u(t) = u_k \\ \text{при } t_k \leq t < t_{k+1}, \quad (2)$$

где $x(t) \in R^n$ – вектор состояния объекта; $y(t) \in R^l$ – вектор выхода объекта; $u(t) \in R^m$ – вектор управляющих воздей-

ствий; $\chi_{1,k}$ и $\chi_{2,k}$ – матрицы настраиваемых коэффициентов регулятора; $r_k \in R^m$ – вектор задающих воздействий; $t_k = k\tau$ – дискретный аналог времени; $\tau = const > 0$ – шаг дискретизации; $k = 0, 1, 2, \dots$ – номер шага; A , B и L – матрицы заданного размера соответственно состояния, управления и выхода; $f(t) \in R^n$ – вектор возмущений или помех, который может быть как затухающим и удовлетворять неравенству

$$\int_0^{\infty} \|f(t)\|^2 dt < \infty \quad (3)$$

так и ограниченным по норме

$$\|f(t)\| \leq f_0 = const. \quad (4)$$

Относительно функционирования объекта (1) предполагается, что уровень априорной неопределенности задан условиями

$$A = A(\xi), \quad B = B(\xi), \\ f(t) = f_{\xi}(t), \quad \xi \in \Xi, \quad (5)$$

где ξ – набор всех неизвестных параметров; Ξ – известное множество возможных значений ξ .

Желаемое поведение ОУ (1) задается с помощью эталонной модели, описываемой уравнениями:

$$\frac{d\bar{x}(t)}{dt} = A_M \bar{x}(t) + B_M r(t), \\ \bar{y}(t) = L^T \bar{x}(t), \quad (6)$$

где $\bar{x}(t) \in R^n$ – вектор состояния ЭМ; $\bar{y}(t) \in R^l$ – вектор выхода ЭМ; A_M и B_M – по-

стоянные матрицы соответствующих размеров, причем A_M – гурвицева; $r(t) = r_k$ при $t_k \leq t < t_{k+1}$.

Как обычно при адаптивном подходе, осуществляется настройка коэффициентов адаптивного регулятора по некоторым алгоритмам, вид которых подлежит определению, исходя из выполнения целевых условий.

Требуется решить следующие задачи.

Задача 1. Если вектор возмущений $f(t)$ удовлетворяет соотношению (3), то при любых начальных условиях и любом $\xi \in \Xi$ синтезировать систему, обладающую свойствами

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} (\bar{x}(t) - x(t)) = 0 \quad (7)$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \chi_{1,k} = \chi_{1*} = const,$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \chi_{2,k} = \chi_{2*} = const. \quad (8)$$

Задача 2. Если вектор помех удовлетворяет ограничению (4), но противоречит условию (3), то при любых начальных условиях и любом $\xi \in \Xi$ синтезировать систему со свойствами

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|e(t)\| = \lim_{t \rightarrow \infty} \|\bar{x}(t) - x(t)\| \leq \sigma = const, \quad (9)$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \chi_{1,k} \leq \chi_{1*} = const,$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \chi_{2,k} \leq \chi_{2*} = const. \quad (10)$$

Решение задачи 1 будем осуществлять, выделяя соответствующие этапы синтеза адаптивных систем управления, основываясь на методике построения ГСПАУ, суть которой изложена в работах [1 – 9].

Первый этап синтеза. Рассмотрим решение задачи построения алгоритмов настройки для системы со скалярным управлением, т.е. случай, когда она описывается уравнениями

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= Ax(t) + bu(t) + f(t), \\ y(t) &= L^T x(t), \end{aligned} \quad (11)$$

$$u_k = \chi_{1,k} r_k + \chi_{2,k}^T y_k, \quad y_k = y(t_k), \quad u(t) = u_k$$

при $t_k \leq t < t_{k+1}$, (12)

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{x}(t)}{dt} &= A_M \bar{x}(t) + b_M r(t), \\ \bar{y}(t) &= L^T \bar{x}(t), \end{aligned} \quad (13)$$

В предположении отсутствия помех, малости шага дискретизации τ и используя обозначение

$$e(t) = \bar{x}(t) - x(t), \quad (14)$$

а также учитывая соотношение (12) и условия структурного согласования

$$A_M - A = b\chi_{2*}^T L^T, \quad b_M = b\chi_{1*},$$

можно в ходе преобразований результата вычитания первого уравнения (11) из первого уравнения (13) получить следующее эквивалентное математическое описание исследуемой системы:

$$\frac{de(t)}{dt} = A_M e(t) + b\mu(t), \quad v(t) = g^T L^T e(t), \quad (15)$$

$$\mu_k = (\chi_{1*} - \chi_{1,k})r_k + (\chi_{2*} - \chi_{2,k})^T y_k, \quad (16)$$

$$\mu(t) = \mu_k \text{ при } t_k \leq t < t_{k+1}, \quad (17)$$

где $v(t) \in R^1$ – обобщенный выход эквивалентной системы; g – постоянный вектор, элементы которого подлежат выбору.

Второй этап синтеза.

Проведение синтеза на этой стадии разработки ГСПАУ состоит в разрешении проблемы положительности относительно линейной стационарной части (ЛСЧ) исходной системы управления с эквивалентным математическим описанием вида (15), (16), (17). Стандартный подход к решению такой задачи – обеспечение свойств вещественности и положительности передаточной функции линейной стационарной части системы:

$$\begin{aligned} W(\lambda) &= g^T L^T (\lambda E - A_M)^{-1} b = \\ &= \frac{g^T L^T (\lambda E - A_M)^+ b}{\det(\lambda E - A_M)}, \end{aligned} \quad (18)$$

где E – единичная матрица; $(\lambda E - A_M)^+$ – матрица, присоединенная к матрице $(\lambda E - A_M)$. Известно, что для получения $W(\lambda)$ с указанными свойствами необходимо и достаточно вектор g выбрать таким образом, чтобы в условиях априорной неопределенности (5) полином $g^T L^T (\lambda E - A_M)^+ b$ был бы гурвицевым степени $(n-1)$ с положительными коэффициентами.

Третий этап синтеза. Для нелинейной нестационарной части (ННЧ) исследуемой системы необходимо показать справедливость следующего неравенства:

$$\eta(0, k_1) = -\sum_{k=0}^{k_1} \mu_k v_k \geq -\gamma_0^2 = \text{const}, \quad \forall k_1 \geq 0, \quad (19)$$

где $v_k = v(t_k)$.

При решении проблемы положительности ННЧ исходной системы (15), (16), (17) воспользуемся результатами нелинейного преобразования и рассмотрим вместо неравенства (19) неравенство, записанное относительно нелинейно преобразованной системы:

$$\eta(0, k_1) = -\sum_{k=0}^{k_1} \mu_k z_k \geq -\gamma_0^2 = \text{const}, \quad \forall k_1 \geq 0, \quad (20)$$

где $z_k = z(t_k)$, $z(t) = g^T L^T e(t) \|e(t)\|^q$.

Используя уравнение (16), получим (21):

$$\sum_{k=0}^{k_1} ((\chi_{1,k} - \chi_{1,*})r_k + (\chi_{2,k} - \chi_{2,*})^T y_k) z_k \geq -\gamma_0^2.$$

Теперь положим:

$$\chi_{1,k} = \chi_{1,k-1} + \varphi(z_k), \quad (22)$$

$$\chi_{2,k} = \chi_{2,k-1} + \phi(z_k), \quad (23)$$

или

$$\chi_{1,k} = \sum_{i=0}^k \varphi(z_i) + \chi_{1,-1}, \quad (24)$$

$$\chi_{2,k} = \sum_{i=0}^k \phi(z_i) + \chi_{2,-1}, \quad (25)$$

тогда получим неравенство:

$$\eta(0, k_1) = \sum_{k=0}^{k_1} z_k \left(\sum_{i=0}^k \varphi(z_i) + \chi_{1,-1} - \chi_{1,*} \right) r_k + \sum_{k=0}^{k_1} z_k \left(\sum_{i=0}^k \phi(z_i) + \chi_{2,-1} - \chi_{2,*} \right)^T y_k \geq -\gamma_0^2, \quad (26)$$

которое будет выполняться, если оба члена левой части удовлетворяют неравенству того же типа.

Для определения явного вида функций φ и ϕ , удовлетворяющих неравенствам, воспользуемся следующим соотношением:

$$\sum_{k=0}^{k_1} F_k \left(\sum_{i=0}^k F_i + C \right) = \frac{1}{2} \left(\left(\sum_{k=0}^{k_1} F_k + C \right)^2 + \sum_{k=0}^{k_1} F_k^2 - C^2 \right) \geq -\frac{1}{2} C^2, \quad (27)$$

где $C = \text{const}$. Используя (27), получим функции φ и ϕ в виде

$$\varphi(z_k) = h_1 z_k r_k, \quad h_1 = \text{const} > 0, \quad (28)$$

$$\phi(z_k) = H_2 z_k y_k, \quad H_2 = \text{diag}\{h_{2i}\},$$

$$h_{2i} = \text{const} > 0, \quad i = \overline{1, l}, \quad (29)$$

алгоритмы адаптации коэффициентов регулятора

$$\chi_{1,k} = \chi_{1,k-1} + h_1 z_k r_k, \quad (30)$$

$$\chi_{2,k} = \chi_{2,k-1} + H_2 z_k y_k. \quad (31)$$

Рассматривая вопрос технической реализуемости алгоритмов (30), (31), необходимо указать, что для их реализации требуется полностью измерять вектор состояния объекта (11).

В тех случаях, когда вектор состояния ОУ измеряется не полностью, алгоритмы адаптации (30), (31) должны быть модифицированы. Для этой цели, опираясь на результаты приложения к работе [6], перепишем неравенство (20) следующим образом:

$$\eta(0, k_1) = -\sum_{k=0}^{k_1} \mu_k z_k \Phi_k \geq -\gamma_0^2 = \text{const}, \quad \forall k_1 \geq 0, \quad (32)$$

где введена функция $\Phi_k \geq 0$, которая явно описывается уравнением

$$\Phi_k = z_k^{-1} v_k \|v_k\|^q, \quad q = 0, 1, 2, \dots \quad (33)$$

Как показано в [6], если разрешимо неравенство (32), то из этого следует и разрешимость (20). Следовательно, выполняя синтез адаптивных алгоритмов по приведенной выше схеме, но используя вместо выражения (20) соотношения (32), (33), находим, что алгоритмы (30), (31) получают следующую модифицированную форму:

$$\chi_{1,k} = \chi_{1,k-1} + h_1 v_k \|v_k\|^q r_k, \quad (34)$$

$$\chi_{2,k} = \chi_{2,k-1} + H_2 v_k \|v_k\|^q y_k. \quad (35)$$

Четвертый этап синтеза. В силу решения в системе управления (15), (16), (17) проблем положительности ЛСЧ и ННЧ, причем для любых начальных условий, и при наличии априорной неопределенности (5) эту систему, согласно критерию гиперустойчивости, следует считать асимптотически гиперустойчивой [9].

Таким образом, благодаря выполнению предельного соотношения

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0 \quad (36)$$

цель управления вида (7) также имеет место.

При этом с учетом явного вида алгоритмов самонастройки коэффициентов регулятора, очевидно, будут выполнены предельные соотношения

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \chi_{1,k} = const, \quad \lim_{k \rightarrow \infty} \chi_{2,k} = const, \quad (37)$$

отвечающие требованиям соответствующих целевых условий (8).

Если же вернуться от математического описания ГСПАУ, представленного в эквивалентном виде, к исходному описанию (уравнениям объекта управления, эталонной модели и адаптивного регулятора), то синтезированная ГСПАУ с алгоритмами (30), (31) математически будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + bu(t) + f(t),$$

$$y(t) = x(t), \quad (38)$$

$$\frac{d\bar{x}(t)}{dt} = A_M \bar{x}(t) + b_M r(t),$$

$$\bar{y}(t) = \bar{x}(t), \quad (39)$$

$$e(t) = \bar{x}(t) - x(t),$$

$$z(t) = g^T e(t) \|e(t)\|^q, \quad (40)$$

$$u_k = \chi_{1,k} r_k + \chi_{2,k}^T y_k, \quad y_k = y(t_k), \quad (41)$$

$$\chi_{1,k} = \chi_{1,k-1} + h_1 z_k r_k, \quad h_1 = const > 0,$$

$$z_k = z(t_k), \quad (42)$$

$$\chi_{2,k} = \chi_{2,k-1} + H_2 z_k y_k, \quad (43)$$

$$H_2 = diag\{h_{2i}\}, \quad h_{2i} = const > 0, \quad i = \overline{1, l},$$

$$u(t) = u_k \quad \text{при } t_k \leq t < t_{k+1}. \quad (44)$$

При этом система управления с алгоритмами (34), (35) описывается уравнениями:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + bu(t) + f(t), \quad y(t) = L^T x(t), \quad (45)$$

$$\frac{d\bar{x}(t)}{dt} = A_M \bar{x}(t) + b_M r(t), \quad \bar{y}(t) = L^T \bar{x}(t), \quad (46)$$

$$v(t) = g^T (\bar{y}(t) - y(t)), \quad (47)$$

$$u_k = \chi_{1,k} r_k + \chi_{2,k}^T y_k, \quad y_k = y(t_k), \quad (48)$$

$$\chi_{1,k} = \chi_{1,k-1} + h_1 v_k \|v_k\|^q r_k,$$

$$h_1 = const > 0, \quad (49)$$

$$\chi_{2,k} = \chi_{2,k-1} + H_2 v_k \|v_k\|^q y_k,$$

$$v_k = v(t_k), \quad (50)$$

$$H_2 = diag\{h_{2i}\}, \quad h_{2i} = const > 0, \quad i = \overline{1, l},$$

$$u(t) = u_k \quad \text{при } t_k \leq t < t_{k+1}. \quad (51)$$

Решение задачи 2 возможно за счет огрубления полученных алгоритмов самонастройки путем введения в контур адаптации местных дополнительных обратных связей.

Список литературы

1. Шевко Д.Г. Алгоритмы настройки для гибридной системы управления с запаздыванием // Молодой ученый. – 2014. – № 19. – С. 262-263.
2. Шевко Д.Г. Гибридная система прямого адаптивного управления неминимально-фазовым объектом // Информатика и системы управления. – 2002. – № 1. – С. 112-120.
3. Шевко Д.Г. Критерий гиперустойчивости и синтез нелинейно-преобразованных гибридных систем прямого адаптивного управления // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2012. – № 57. – С. 65-69.
4. Шевко Д.Г. Метод синтеза гибридных систем адаптации // Молодой ученый. – 2014. – № 21. – С. 251-253.
5. Шевко Д.Г. Модели и алгоритмы нелинейно преобразованных гибридных систем прямого адаптивного управления: дис. ... канд. техн. наук. – 2003. – 149 с.
6. Шевко Д.Г. Синтез и нелинейные преобразования гибридных систем прямого адаптивного управления // Информатика и системы управления. – 2002. – № 2. – С. 133-144.
7. Шевко Д.Г., Козюра В.Е. Гибридная система управления с запаздыванием по состоянию // Молодой ученый. – 2015. – № 1. – С. 113-115.
8. Шевко Д.Г., Козюра В.Е., Павельчук А.В. Способы построения гибридных систем управления // Молодой ученый. – 2015. – № 7. – С. 225-226.
9. Landau I.D. Adaptive control systems: the model reference approach. – N.Y.: Marsel Dekker, 1979. – 406 p.