

УДК 551.5:631.436

DOI: 10.18413/2409-1634-2017-3-4-41-54

Пенджиев А.М.

**КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ
СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛИЦ**

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, Гунеш 4/1 м. Бикрова, Ашхабад-32, 744032, Туркменистан, ampenjieva@rambler.ru

Аннотация

Предмет исследования. В статье рассмотрены и научно обоснованы теплотехнические исследования защищенного грунта и технико-экономические характеристики энергоэффективности районирования солнечных тепличных хозяйств для выращивания различных сельскохозяйственных культур в условиях Туркменистана.

Целью исследования является составление математической модели прогноза микроклимата солнечной теплицы траншейного типа и ее решение. На основе решенной математической модели с использованием геоинформационной системы разработать, составить климатическую карту районирования и построить номограмму определения микроклимата солнечной теплицы в Туркменистане.

Методология. С учетом природно-климатологических условий составлена математическая модель теплотехнических расчетов. На основании геоинформационных систем разработана: карта районирования, номограмма прогноза микроклимата солнечной теплицы для проектирования теплиц; подобраны мощности дополнительного обогрева зимой, охлаждения летом от перегрева, с целью экономии энергоресурсов в регионах Туркменистана.

Результаты. На основе решенной математической модели, с использованием геоинформационной системы разработана и составлена климатическая карта районирования и номограмма прогноза температурного режима в зависимости от проникающей солнечной радиации в теплицу в регионах Туркменистана. С помощью технико-экономических показателей и обеспечения энергоэффективности солнечных теплиц, составлена климатическая карта районирования. Разработанные номограммы подтверждают возможность прогнозирования, районирования и проектирования солнечных теплиц в той или иной области для дополнительного подбора обогрева зимой, охлаждения от перегрева летом с целью экономии энергоресурсов.

Заключение. Полученные результаты дадут возможность удешевления тепличного продукта, теплофикации и уменьшения капиталовложений в строительство дополнительного отопительного и охлаждающего оборудования с целью экономии энергоресурсов. Научно-обоснованные результаты предоставят возможность обеспечить устойчивое развитие регионов страны и интродукцию возделывания, перспективы выращивания сельскохозяйственных культур в аридных районах Туркменистана с использованием возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика; технико-экономические показатели; районирование солнечных теплиц; номограмма; геоинформационная карта; энергоэффективность; Туркменистан

Akhmet M. Penjiyev

CLIMATIC ZONING OF SOLAR GREENHOUSES

Turkmen State Institute of Architecture and Construction, 4/1 Gunesh St., Bikrov, Ashkhabad-32, 744032, Turkmenistan, ampenjiyev@rambler.ru

Abstract

Subject of the study. The article considers and scientifically substantiates the thermal engineering studies of the protected ground and the technical and economic characteristics of energy efficiency of the zoning of solar greenhouses for the cultivation of various agricultural crops in the conditions of Turkmenistan.

The study is aimed at working out a mathematical model for the microclimate forecast of a solar trench-type greenhouse and its solution; developing and working out a climatic zoning map, and constructing a nomogram for determining the microclimate of the solar greenhouse in Turkmenistan, based on the solved mathematical model with the use of the geoinformation system.

Methodology. Taking into account the natural climatological conditions, a mathematical model of heat engineering calculations was worked out. Based on the geoinformation systems, there were developed a zoning map and a nomogram of the microclimate forecast of a solar greenhouse for the design of greenhouses; there was calculated the capacity of additional heating in winter and cooling in summer in order to save energy resources in the regions of Turkmenistan.

Results. Based on the solved mathematical model, using the geoinformation system, a climatic map of the zoning and a nomogram of the forecast of the temperature regime were developed and worked out, depending on the solar radiation penetrating into greenhouses in the regions of Turkmenistan. With the help of technical and economic indicators and energy efficiency of solar greenhouses, a climatic zoning map was worked out. The developed nomograms confirm the possibility of forecasting, zoning and designing solar greenhouses in one or another region for additional selection of heating in winter and cooling in summer in order to save energy resources.

Conclusion. The obtained results will make it possible to reduce the cost of the greenhouse product and heating, to reduce investment in the construction of additional heating and cooling equipment in order to save energy resources. Scientifically substantiated results will provide an opportunity to ensure sustainable development of the country's regions and introduction of cultivation, as well as the prospects for growing crops in arid regions of Turkmenistan using renewable energy sources.

Keywords: renewed power; technical and economic indicators; solar greenhouses zoning; nomograms; a geoinformation card; power efficiency; Turkmenistan

Введение

Актуальность проблемы. Нарастивание объемов производства разнообразной сельскохозяйственной продукции, развитие агропромышленного комплекса, рациональное использование земли и воды, селекционная работа, выведение новых сортов сельскохозяйственных культур, научные основы повышения их урожайности, повсеместная организация тепличных хозяйств все это обеспечивается в стране

продовольственного изобилия. Это является стратегическим ориентиром и важнейшим приоритетом проводимой Президентом Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедовым политики продовольственной программы [1].

Продовольственной программой страны предусматривается значительное увеличение производства продуктов овощеводства. Для нормального обеспечения овощами населения по расчетам специали-

стов необходимо не менее 2 м площади на человека. Важную роль при решении Продовольственной программы играют разработка и создание сооружений, обеспечивающих производство овощей при минимальных затратах.

В настоящее время выращивание овощных культур в тепличных хозяйствах, является энергоемким производством. Овощная продукция, выращенная в защищенном грунте, обходится дорого из-за высокой стоимости культивационных сооружений и отопительных систем, например, на производство 1 кг овощей в теплицах затрачивается 10-13 кг у.т. и удельный вес расхода на отопление составляет от 40 до 60%, оплата рабочей силы обходится от 15 до 25%, амортизационные отчисления от 10 до 15% [2-9].

Поэтому при проектировании и районировании теплично-парникового хозяйства первостепенное внимание следует уделять выбору наиболее рациональных источников технического обогрева, обосновывая его технико-экономическими расчетами. Вопросы удешевления теплофикации и уменьшения капиталовложений в строительство котельных можно решить, комбинируя возобновляемые источники энергии (солнце, термальных вод) с промышленными тепловыми отходами.

В последние годы все чаще поднимается вопрос о программировании урожая. В задачу входят, разработка комплекса взаимосвязанных мер своевременного и высококачественного осуществления инновационных технологий, что позволит обеспечить достижение заранее рассчитанного уровня урожая высокого качества. К числу таких мер можно отнести:

1. создание путем мелиорации и агротехники таких условий среды, которые лучше бы соответствовали потребностям культивируемых растений;
2. оптимальное природно-климатическое районирование выбранных сортов в соответствии с агроклиматом и созданным микроклиматом;

3. использование сортов, наиболее соответствующих условиям окружающей среды в данном регионе.

Указанным мероприятиям должны предшествовать:

- агроклиматическая оценка потенциальных возможностей формирования урожая в отдельных регионах;
- выяснение энергоэффективности и научное обоснование необходимости перечисленных мероприятий;
- прогноз их эффективности (оценка прироста урожая по отдельным культурам).

Целями и задачами исследования является, составить математическую модель прогноза технико-экономической энергоэффективности для создания микроклимата солнечной теплицы траншейного типа. На основе решенной математической модели с использованием геоинформационной системы составить климатическую карту районирования и разработать номограмму оптимального микроклимата солнечной теплицы в Туркменистане.

Для достижения этих целей решались следующие задачи:

- исследованы природно-климатические условия с целью определения возможности круглогодично выращивания различных сельскохозяйственных культур в климатической зоне Туркменистана;
- изучены агрометеорологические факторы, влияющие на микроклимат солнечной теплицы по регионам страны;
- составлена математическая модель теплотехнических параметров микроклимата солнечной теплицы траншейного типа с учетом климатических условий регионов Туркменистана и на их основе составлена районированная климатическая карта и построена номограмма для прогноза температурного режима солнечной теплицы траншейного типа для северного, восточного, центрального, юго-западного регионов страны;
- рассчитана технико-экономическая энергоэффективность использования традиционных источников топлива для обо-

грева теплиц зимой и охлаждения от перегрева теплицы летом по регионам Туркменистана и проведен их сравнительный анализ.

Научная новизна работы заключается в составленной математической модели теплотехнических параметров микроклимата солнечной теплицы траншейного типа с учетом агроклиматических факторов регионов Туркменистана и на их основе разработана и составлена климатическая карта районирования, построена номограмма для прогноза температурного режима теплицы траншейного типа для се-

верного, восточного, центрального, юго-западного регионов страны.

Основные источники энергии защищенного грунта

Предмет исследования. Энергетической базой защищенного грунта могут служить любые источники энергии (рис. 1). До недавнего времени ими в основном были природные органические топлива: уголь, нефть, газ. В настоящее время большое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии (солнце, геотермальным источникам энергии).

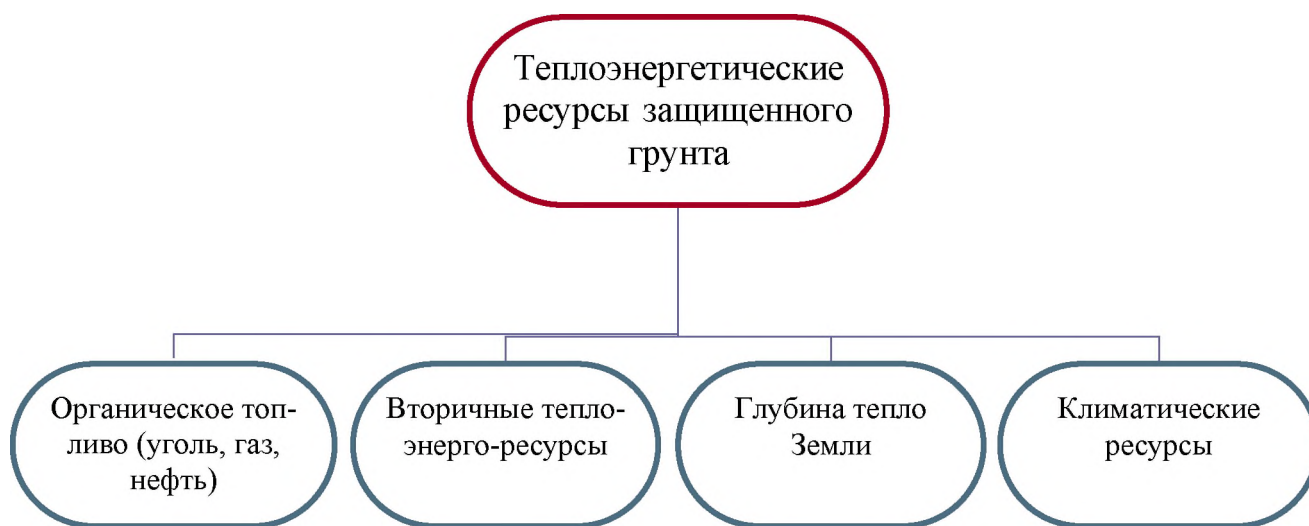


Рис. 1. Энергетические ресурсы защищенного грунта

Fig. 1. Power resources of the protected ground

Краткий обзор. Например, в Германии в конце 70-х годов: 73% суммарной площади теплиц обогревалось легким жидким топливом, 18% -тяжелым, 7% – твердым топливом и 2% – природным газом [2]. В Нидерландах топливный баланс иной и 80% защищенного грунта обогревалось природным газом [4].

Однако по мере истощения мировых запасов органического топлива, все большее внимание уделяется возможностям использования вторичных теплоэнергоресурсов (ВТЭР), т.е. тепла, которое является

побочным продуктом различных технологических процессов. К таким процессам относится обжиг клинкера при производстве цемента, тушение кокса, охлаждение доменных печей, перегонка нефти, охлаждение конденсаторных установок тепловых и атомных электростанций и т.д.

Перспективными источниками ВТЭР являются тепловые отходы тепловых и атомных электростанций (ТЭС и АЭС). Дело в том, что коэффициент полезного действия современных турбоагрегатов не превышает 40%. Следовательно, 60% топ-

лива, затрачиваемого на производство электроэнергии, полезно не используется. В работе [4] указывается, что суммарный сброс тепла всеми ТЭС в Советском Союзе составлял свыше $4,19 \cdot 10^9$ ГДж/год. В 90-е годы тепловые отходы ТЭС и АЭС в Европейской части и СНГ составили 10^{10} ГДж/год, что эквивалентно сжиганию $0,4 \cdot 10$ т условного топлива в год. Тепловые отходы ТЭС в США оцениваются в $56,3 \cdot 10^6$ т условного топлива: во Франции – $13,96 \cdot 10^6$ т, в Англии – $5,12 \cdot 10^6$ т, в Бельгии – $3,23 \cdot 10^6$ т [5].

Следует отметить, что термический потенциал таких энергоресурсов, как правило, весьма низкий. Например, температура воды, сбрасываемой после охлаждения конденсаторных установок тепловых и атомных станций, равна (в среднем) зимой $12-15^\circ\text{C}$, летом $15-25^\circ\text{C}$ [3,6].

Другим мощным источником ВТЭР являются тепловые отходы газокompрессорных станций. Продукты сгорания имеют температуру около $250-300^\circ\text{C}$, что позволяет получать теплоноситель в виде горячей воды с температурой $90-130^\circ\text{C}$.

Большое внимание в настоящее время уделяется возможностям использования глубинного тепла Земли. СНГ обладает весьма большими запасами геотермальных вод (ГТВ). Наиболее перспективными районами, является Кавказ, южная часть Средней Азии, Западная Сибирь и Камчатка. Температура ГТВ определяется районном расположении источника (скважины) и варьирует от 35 до 90°C .

Накоплен положительный опыт по использованию ГТВ в защищенном грунте. В частности, на Камчатке на Паратунском месторождении ГТВ (температура $80-90^\circ\text{C}$) построен тепличный комбинат [4]. В пригороде г. Махачкала (Тернаир) подземная вода с температурой 63°C используется для обогрева парников и теплиц. Теплично-парниковые хозяйства, обогреваемые термальной водой, построены в городах Циами и Охурей [2-5].

Аналогичные исследования проводятся и за рубежом. Во Франции [2-5] для

обогрева теплиц используется термальная вода с температурой 69°C , получаемая из скважины глубиной 1800 м. Дебит скважины 2000 м³/ч. В работе [4] указывается, что такой источник тепла позволяет обогреть 10 га зимних теплиц. В Венгрии в 1974 г. термальными водами обогревалось 50 га теплиц и 100 га теплофицированного грунта [5]. Запасы ГТВ в Чехословакии оцениваются в $(3, 5 \dots 4) \cdot 10^6$ кВт [2-5].

Другая возможность использования глубинного тепла Земли заключается в вентиляции глубоких шахт. Например, в работе [2-6] указывается, что в США имеется около 200 тыс. не эксплуатируемых шахт и других подземных выработок, температура воздуха в которых равна $10-18^\circ\text{C}$. Эксперименты по обогреву теплиц от такого источника тепла дали положительные результаты [2-9].

При использовании традиционных источников энергии происходит интенсивное загрязнение окружающей среды. В меньшей степени это явление наблюдается при утилизации ВТЭР и глубинного тепла Земли. Поэтому, наряду с изысканием и освоением новых месторождений природного топлива и интенсификацией использования вторичных энергоресурсов и геотермальных вод, большой практический интерес представляют поиски и освоение так называемых «чистых» источников энергии, т.е. таких источников, использование которых не приводит к загрязнению окружающей среды.

К «чистым» источникам энергии можно отнести климатические ресурсы и, прежде всего, солнечную радиацию. Известно, что на поверхность Земли поступает около $7,5 \cdot 10^{17}$ кВт ч солнечной энергии в год. Примерно половина ее расходуется на испарение, около 1% аккумулируется растениями. Таким образом, количество энергии, которое в принципе может быть полезно использовано, составляет около $4 \cdot 10^{17}$ кВт-ч в год. Наглядно оценить эту величину в Туркменистане можно с помощью карты (рис. 2). Энергетический потенциал ВИЭ огромен и составляет: Солн-

ца – $4 \cdot 10^{15}$ кДж или $1,4 \cdot 10^9$ у.т. в год; ветра – $640 \cdot 10^9$ кВт ч в год; геотермальных

вод – 2,5 млн. у.т в год, кроме того еще достаточно энергия биомассы и малых рек.

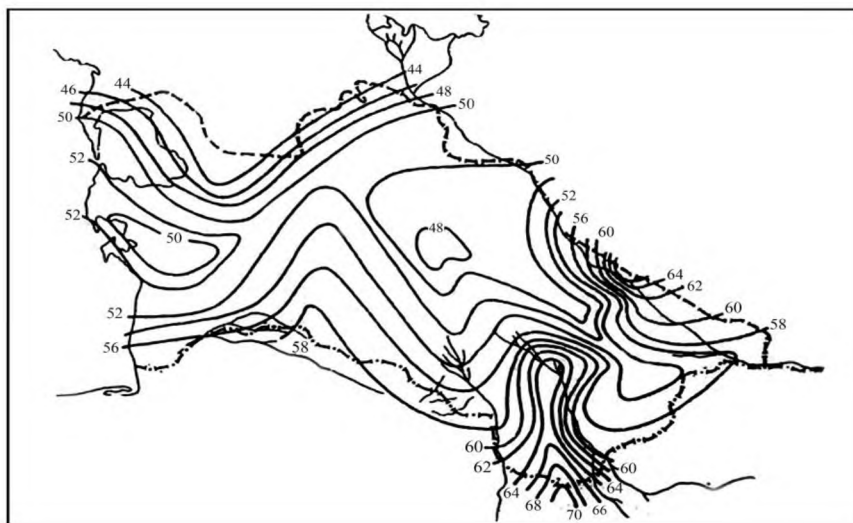


Рис. 2. Солнечный радиационный баланс ккал/см² год
Fig. 2. Solar radiation balance, kcal/cm² year

Применение солнечной энергии для обогрева защищенного грунта осуществляется двумя путями. Первый основан на особенностях светопрозрачного ограждения пропускать солнечную радиацию в культивационное сооружение и препятствовать выходу тепловой энергии наружу. Иными словами, культивационное сооружение является ловушкой для солнечной энергии.

Основным недостатком этого способа является отсутствие возможности для накопления энергии. Поэтому второй путь использования солнечной энергии для обогрева защищенного грунта предусматривает создание специальных конструкций, позволяющих не только улавливать, но и аккумулировать солнечную радиацию. Основные результаты исследований в этой области изложены в работах [3-8,12-14].

На тепловой режим защищенного грунта большое влияние оказывают такие климатические факторы, как температура воздуха и скорость ветра. Затраты энергии на обогрев культивационного сооружения находятся в прямой зависимости от этих факторов. Таким образом, формирование

теплового режима в значительной степени определяется климатическими ресурсами.

Цель климатическое районирование защищенного грунта

Цель агроклиматического районирования, как известно, состоит в оценке благоприятности природно-климатических характеристик территории для того или иного объекта сельскохозяйственного производства. В данном случае речь идет о целесообразности размещения защищенного грунта в разных климатических районах Туркменистана.

К основным характеристикам климата, как уже указывалось, относятся температура и влажность воздуха, солнечная радиация и скорость ветра. Температура воздуха и скорость ветра определяют в холодное время года с учетом теплопотери культивационного сооружения и затраты энергии на его обогрев. От интенсивности солнечной радиации зависит освещенность в культивационном сооружении. Как известно, зимой, особенно в северных районах страны в Дашогузском велаяте (области), естественная освещенность является

лимитирующим растениеводство фактором. В теплое время года температура воздуха и солнечная радиация являются причиной перегревов.

Соответствие климата технологическим и энерготехническим требованиям защищенного грунта можно количественно оценить с помощью микроклиматических критериев (освещенность солнечной радиацией и температура воздуха в культивационном сооружении), энергетических показателей (расходы энергии на обогрев, длительность отопительного периода) и конструктивных характеристиках (мощность отопительной системы, производительность вентиляционных устройств).

Климатическое районирование защищенного грунта изучали М.Т. Гликман и С.С. Клиникова, Н.И. Гаврилов, М.А. Миронов, Д.А. Куртнер, А.Ф. Чудновский [2-6] и др. В работах туркменских ученых [3,5-14] осуществлен анализ расходов тепловой энергии на отопление зимних теплиц в различных климатических зонах страны. В частности, из выполненных расчетов для однослойных стеклянных солнечных теплиц получено, что расход тепла в долях единицы изменяется по территории Туркменистана в широком диапазоне: в южном $35^{\circ}08'$ до северных $42^{\circ}48'$.

Довольно четкая связь наблюдается между географическим положением пункта и продолжительностью отопительного периода, началом и концом отопительного периода приняты моменты перехода средней суточной температуры воздуха весной и осенью через 15°C ; за единицу принята разная продолжительность отопительного периода – от 120 до 151 дня. В южных районах продолжительность отопительного периода существенно короче и коэффициент равен 0,61.

Методология. Разработка, создание и исследования энергетических параметров солнечной теплицы для выращивания сельскохозяйственных культур.

Все большее практическое значение приобретает решение задач, направленных

на теплофизическую достоверность расчетов, характеризующих процессы формирования энергетических режимов в сельскохозяйственных производственных зданиях, на улучшение теплозащитных качеств ограждающих конструкций и совершенствование систем отопления и вентиляции этих сооружений.

Учеными проделана большая научно-исследовательская работа по расчету и испытанию различных культивационных сооружений.

Во всех этих работах в той или иной форме разрабатывались математические модели, и рассчитывался тепловой режим наземных теплиц.

Но среди трудов нет ни одной разработки, которую можно было бы непосредственно использовать для расчета солнечной теплицы траншейного типа. Процесс теплообмена в наземных теплицах существенно отличается от теплообмена, происходящего в траншейной теплице, так как боковые стены траншеи с грунтовым массивом обладают большой инерционностью. Естественно, это будет влиять на формирование микроклимата: температурно-влажностного, радиационного и режима освещенности теплицы [6-12].

С углублением траншеи появляется неоднородность освещения почвы и стен, что в свою очередь, усложняет задачу расчета. Для реализации разнообразных задач (проектирования, районирования, экономических расчетов и научных исследований), необходимо прогнозировать возможный уровень параметров микроклимата теплиц траншейного типа при различных наружных климатических условиях. Знание энергетических возможностей не отапливаемых культивационных сооружений позволит проводить их районирование на территориях Туркменистана, существенно отличающихся друг от друга природно-климатическими условиями. Но в отличие от наземных теплиц, в траншейных теплицах вводится понятие коэффициента траншейности, который определяет углубление теплицы в почву, отношением

площади стен к площади почвы. Физическая модель тепловых процессов, происходящих в солнечной теплице траншейного

типа, принятая расчетная схема теплотехнического баланса приведена на рисунке 3.

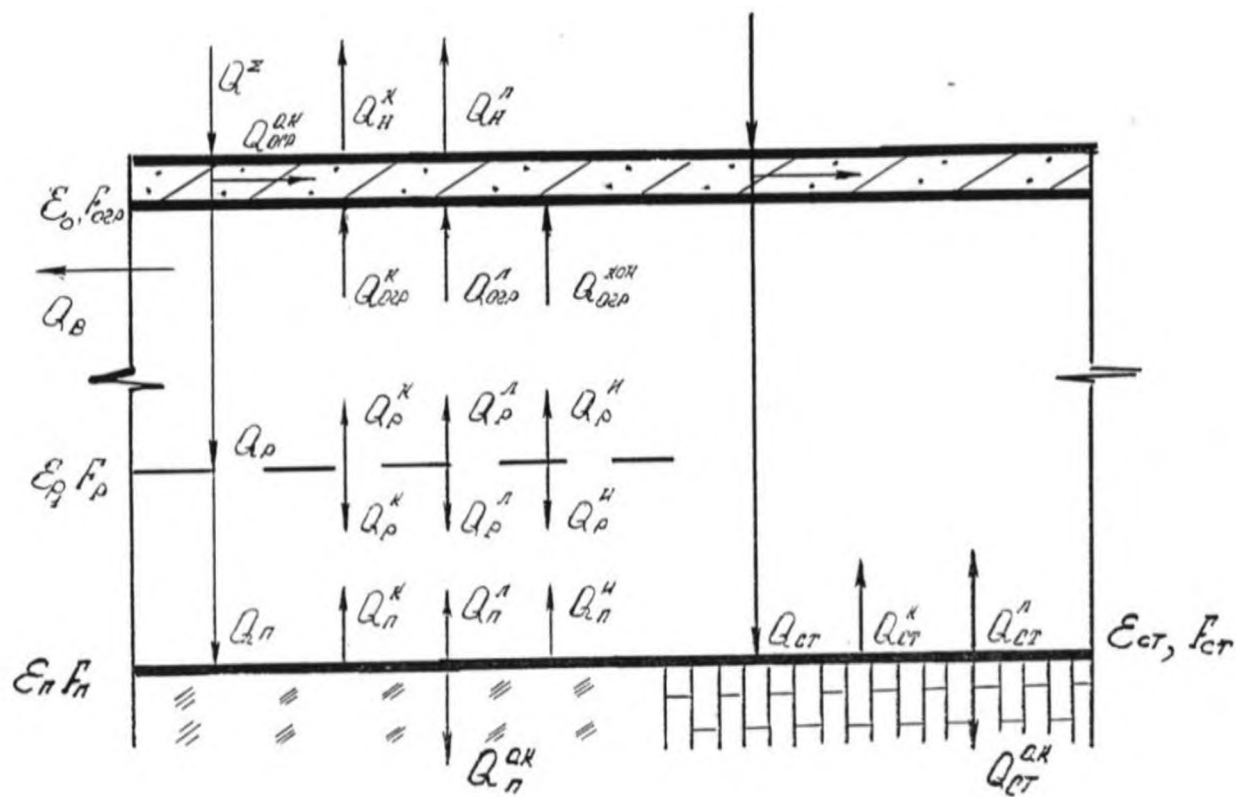


Рис. 3. Одномерная расчетная модель теплотехнического баланса солнечной траншейной теплицы

Fig. 3. One-dimensional calculation model of the heating-performance balance of a solar trench-type greenhouse

Расчет теплового баланса солнечной теплицы траншейного типа выглядит как система уравнений теплового баланса. Для культивационного сооружения воздушного

пространства для промежутка времени $d\tau$ с учетом обогрева можно записать в следующем виде:

$$dQ_{об} + dQ_p^\Sigma - dQ_m - dQ_v - dQ_{cm} - dQ_n - dQ_a - dQ_p = 0; \quad (1).$$

где $dQ_{об}$ – тепловыделение системы отопления; dQ_p^Σ – поток тепла солнечной радиации, поступающей в культивационное сооружение; $dQ_{в.т}$ – количество тепла, отдаваемое окружающей среде в результате воздухообмена и теплопередачи через ограждения; $dQ_{ст} = dQ_{ст}^* + dQ_{ст}^0$ – поток тепла в стенку; $dQ_{п} = dQ_{п}^* + dQ_{п}^0$ – поток тепла в почву, $dQ_{п}^*(ст)$, $dQ_{п}^0(ст)$ – поток

тепла на освещенную и неосвещенную части стенки и почвы; dQ_a – поток тепла, аккумулируемый в воздухе за время $d\tau$; dQ_p – поток тепла на растительный покров (при условии, если теплица с растениями).

Теплового баланса поверхности почвы для освещенной и неосвещенной частей, при отсутствии растительного покрова, имеет вид, и записывается отдельно:

$$dQ_{\text{п}}^* = dQ_{\text{п}}^{\Sigma} - dQ_{\text{п}}^{*\text{л}} - dQ_{\text{п}}^{*\text{к}} - dQ_{\text{п}}^{*\text{л}} \quad (2);$$

$$dQ_{\text{п}}^{\text{о}} = dQ_{\text{п}}^{\text{рс}} + dQ_{\text{п}}^{\text{ол}} + dQ_{\text{п}}^{\text{ок}} + dQ_{\text{п}}^{\text{оин}} \quad (3);$$

где $dQ_{\text{п}}^{\Sigma}$ – суммарный поток тепла приходящей солнечной радиации в почву; $dQ_{\text{п}}^{\text{рс}}$ – поток тепла приходящей рассеянной радиации на неосвещенную часть почвы; $dQ_{\text{п}}^{\text{л}}$ – поток тепла излучаемого почвой; $dQ_{\text{п}}^{\text{н}}$ – затраты тепла на испарение; $dQ_{\text{п}}^{\text{к}}$ – поток тепла, конвективный тепловой поток почвой на поверхность почвы; $dQ_{\text{п}}^{\text{коп}}$ – конденсированного тот же промежуток времени $d\tau$, здесь индексы: «п», «*», «о» – соответственно почвы, освещенной и неосвещенной поверхностей.

Уравнение теплового баланса поверхности стенки записывается аналогичным образом, как уравнение теплового баланса для почвы, освещенной и неосвещенной ее части, имеет вид:

$$dQ_{\text{ст}}^* = dQ_{\text{ст}}^{\Sigma} - dQ_{\text{ст}}^{*\text{л}} - dQ_{\text{ст}}^{*\text{к}} - dQ_{\text{ст}}^{*\text{н}} \quad (4);$$

$$dQ_{\text{ст}}^{\text{о}} = dQ_{\text{ст}}^{\text{рс}} - dQ_{\text{ст}}^{\text{ол}} - dQ_{\text{ст}}^{\text{ок}} - dQ_{\text{ст}}^{\text{окоп}} \quad (5);$$

$dQ_{\text{ст}}^{*\text{н}} \approx 0$ – не учитывали.

$$\mu_{\text{п}} c_{\text{п}} \frac{\partial T_{\text{п}}}{\partial \tau} = HI_{\text{п}} + \sigma T_{\text{а}}^4 (\alpha_1 + \epsilon_1 \sqrt{e} - 1) - [(4\sigma T_{\text{а}}^3 + 7.3 \cdot 10^{-4} (\omega / \epsilon_{\text{п}})^{0.5}) \Delta T - (3243 - 2.72 T_{\text{а}}) E_{\text{п}}] \quad (8)$$

С учетом приведенного сложного балансового уравнения температуры листа

$$c_{\text{п}} \gamma_{\text{п}} \delta_{\text{п}} \frac{dT_{\text{п}}}{d\tau} = -\alpha_{\text{п}}^{\text{л}} (T_{\text{п}} - T_{\text{с}}) F_{\text{п}} + \alpha_{\text{п}}^{\text{н}} (T_{\text{п}} - T_{\text{с}}) + A_{\text{п}} K_{\text{тп}} I F_{\text{п}} \quad (9).$$

Проделав ряд математические преобразований, получим формулу для определения температуры листа:

$$T_{\text{п}} = \frac{\alpha_{\text{п}}^{\text{л}} F_{\text{п}} T_{\text{с}} + \alpha_{\text{п}}^{\text{н}} T_{\text{с}} F_{\text{п}} + A_{\text{п}} K_{\text{тп}} I}{(\alpha_{\text{п}}^{\text{л}} + \alpha_{\text{п}}^{\text{н}}) F_{\text{п}}} \cdot \frac{\alpha_{\text{п}}^{\text{л}} F_{\text{п}} T_{\text{л}} \exp(\omega \tau - \varphi_{\text{л}}) + \alpha_{\text{п}}^{\text{н}} T_{\text{л}} F_{\text{п}} \exp(\omega \tau - \varphi_{\text{л}})}{c_{\text{п}} \gamma_{\text{п}} \delta_{\text{п}} \omega \exp(\omega \tau - \varphi_{\text{п}}) + (\alpha_{\text{п}}^{\text{л}} + \alpha_{\text{п}}^{\text{н}}) F_{\text{п}}} \quad (10).$$

При экспериментальном исследовании температурного режима листа наблюдает-

Уравнение теплового баланса ограждения можно записать в следующем виде:

$$dQ_{\text{отр}} = dQ_{\text{в}}^{\text{л}} + dQ_{\text{в}}^{\text{к}} + dQ_{\text{в}}^{\text{коп}} + dQ_{\text{пог}}^{\text{р(с)}} - dQ_{\text{н}}^{\text{л}} - dQ_{\text{н}}^{\text{к}} - dQ_{\text{н}}^{\text{н}} \quad (6);$$

Ясно, что при кратковременных периодах осадков учитывать $dQ_{\text{н}}^{\text{н}}$ нет смысла. Здесь $dQ_{\text{пог}}^{\text{р(с)}}$ – поток тепла солнечной радиации, поглощаемой стеклом. Индексы «н» и «в» – обозначают наружную и внутреннюю поверхности ограждения.

Подставляя найденное решение интегрального уравнения в решение первой задачи (1), получим искомым результат формулы:

$$\theta_{\text{в}} = \int_0^{\tau} \mathfrak{Z}(\delta) \exp[-h(\tau - \delta)] d\delta - \sum_{i=1}^4 \frac{Bi(\tau)}{R_i} \quad (7).$$

Математическая модель определения температуры листа растений в солнечных теплицах. Температура листа взаимосвязана с воздушным пространством, гелиосооружением и внешней средой, в связи с этим в математическую модель введено уравнение теплового баланса листа в виде:

(8) можно составив упрощенное балансовое уравнение:

следующая картина – на температуру растительного покрова, в основном, влияет

солнечная радиация. В летний период теплица затенялась и там, где освещение было неравномерным, и лучи солнца не попада-

ли на листья дынного дерева, там температура была выше или равнялась температуре воздуха, это видно на рисунке 4.

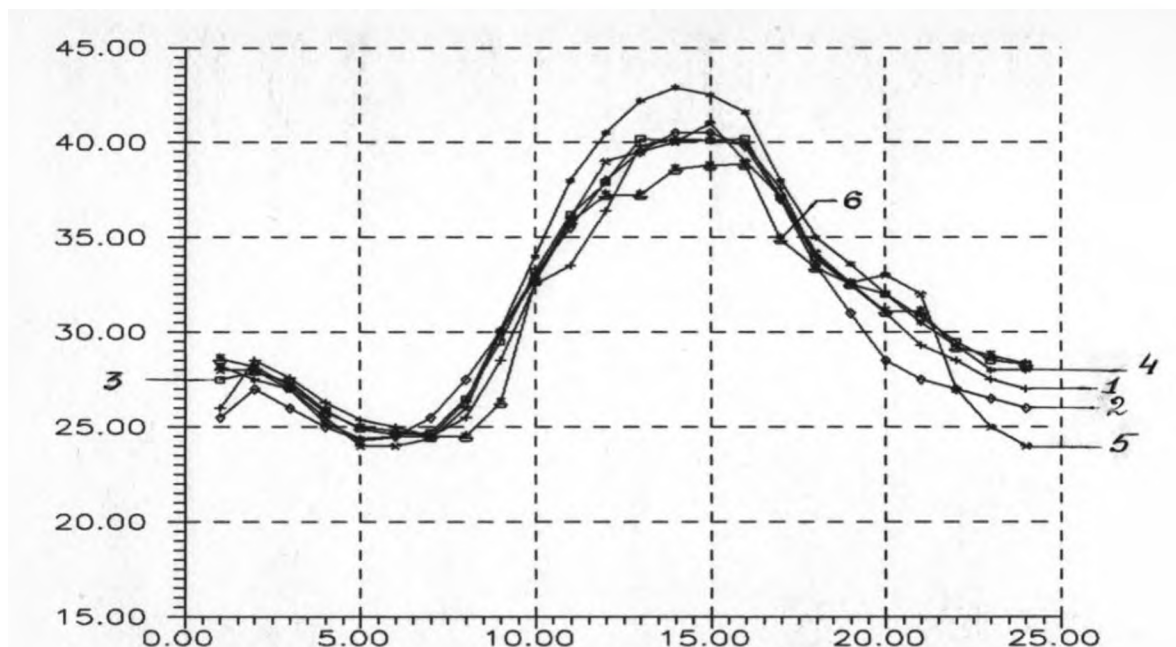


Рис. 4. Температурный режим листа и воздуха в теплице: 1 – температурный режим листа рассчитанный по формуле 8; 2 – температурный режим листа рассчитанный по формуле 10; 3 – температурный режим (эксперимент); 4 – температурный режим воздуха в теплице; 5 – температурный режим наружного воздуха; 6 – температурный режим плода дынного дерева.

Fig. 4. A temperature mode of a plant leaf and the air in a greenhouse: 1 – a temperature mode of the leaf calculated according to formula 8; 2 – a temperature mode of the leaf calculated according to formula 10; 3 – a temperature mode (experiment); 4 – a temperature mode of the air in the greenhouse; 5 – a temperature mode of the external air; 6 – a temperature mode of a fruit of a melon tree.

Обсуждение полученных результатов. На основании решений и сравнения уравнений сложной и упрощенной математической модели теплотехнических параметров использовались методы прикладной математической статистики. С помощью регрессивного анализа осуществлялось построение зависимости между факторами экспериментального материала по температурному режиму в теплице, наружного воздуха и других параметров. Анализ данных, показал, что полученные результаты расчета по формуле (8) и (10) адекватно воспроизводят результаты эксперимента, причем наиболее точный расчет дает формула (8) с ошибкой аппроксимации 12,35%, а по формуле (10) ошибка составляет 23,11 %.

На основе научно-обоснованных теоретических и практических расчетов и полученных результатов математической модели с учетом геоинформационных систем разработана и составлена климатическая карта районирования, номограмма для определения средней температуры воздуха в теплице траншейного типа в зависимости от количества солнечной радиации, для конкретного случая. Суммарная солнечная радиация зафиксирована в пределах от 0 – 30 000 Вт/ м² мес., при коэффициенте ограждения $F_1 / F_2 = 1,1$, скорость ветра меняется в зависимости от времени года и естественно конвективный теплообмен по регионам Туркменистана [5-7].

Результаты составленной номограммы по регионам Туркменистана приведены на рис. 5 (а,б,в,г).

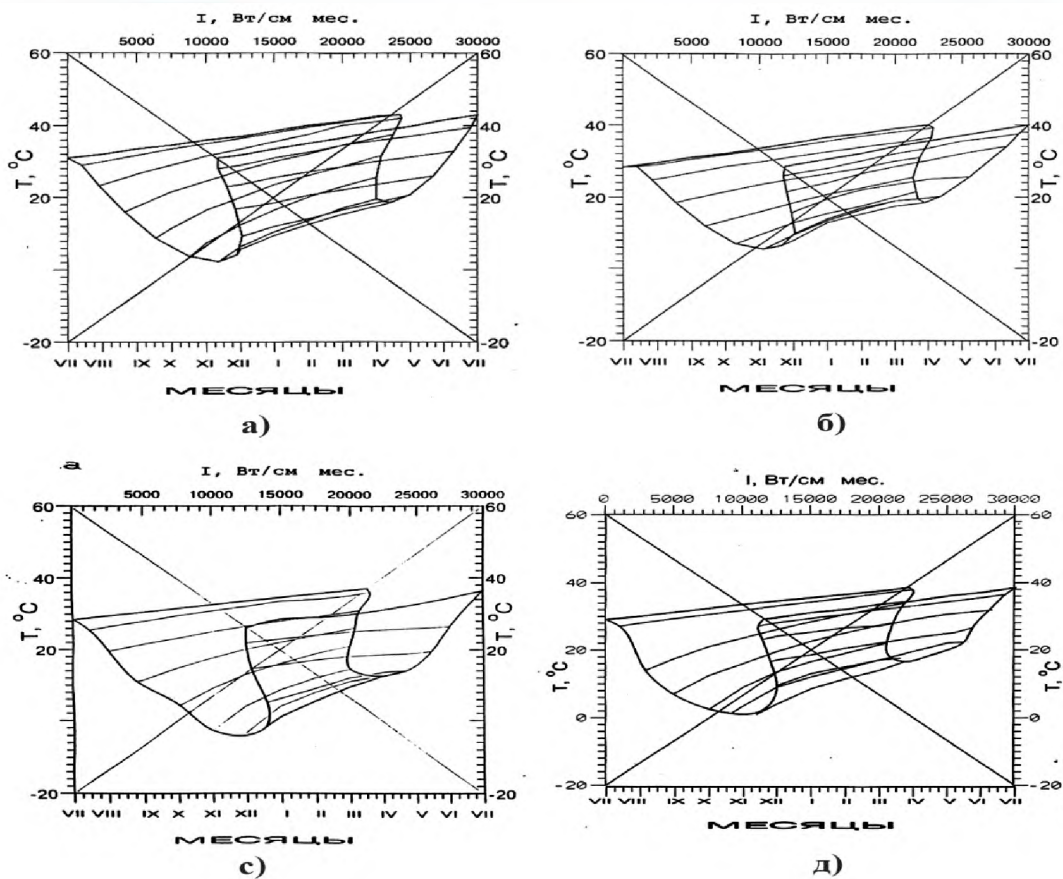


Рис. 5. Номограмма для определения температур воздуха в теплице в зависимости от количества солнечной радиации в областях Туркменистана: а- Ахалской области; б- Балканской области; с- Дашогузской области; д- Лебапской области

Fig. 5. A nomogram for measuring temperatures of the air in a greenhouse depending on the quantity of solar radiation in the areas of Turkmenistan: a – Akhal area; b – Balkan area; c – Dashoguz area; d – Lebap area

На основании научно-обоснованных результатов, экспериментальных исследований и полученных данных с использованием элементов геоинформационных систем (ГИС) составлена карта районирования средней изотермы наружного воздуха

гелиотеплицы траншейного типа в июле (отмечены черными цветом), в январе (красным) месяце по регионам Туркменистана (рис. 6, 7).

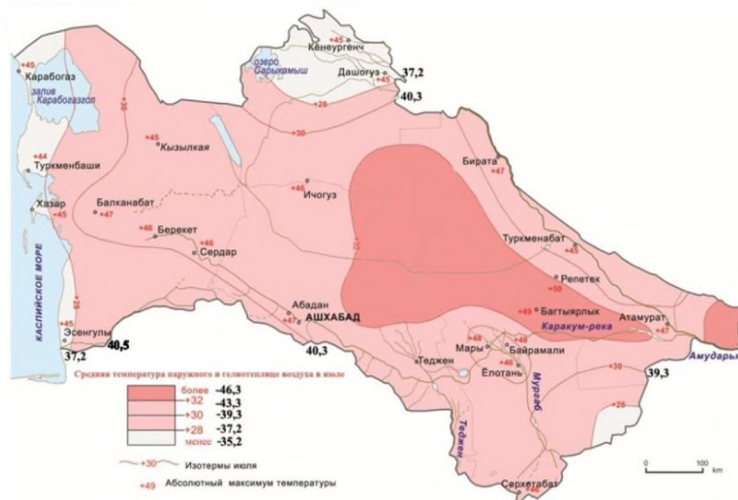


Рис.6. Карта средней изотермы наружного воздуха и гелиотеплицы траншейного типа (черным) в июле по регионам Туркменистана

Fig. 6. A map of an average isotherm of the external air and a solar trench-type greenhouse (black) in July in the regions of Turkmenistan

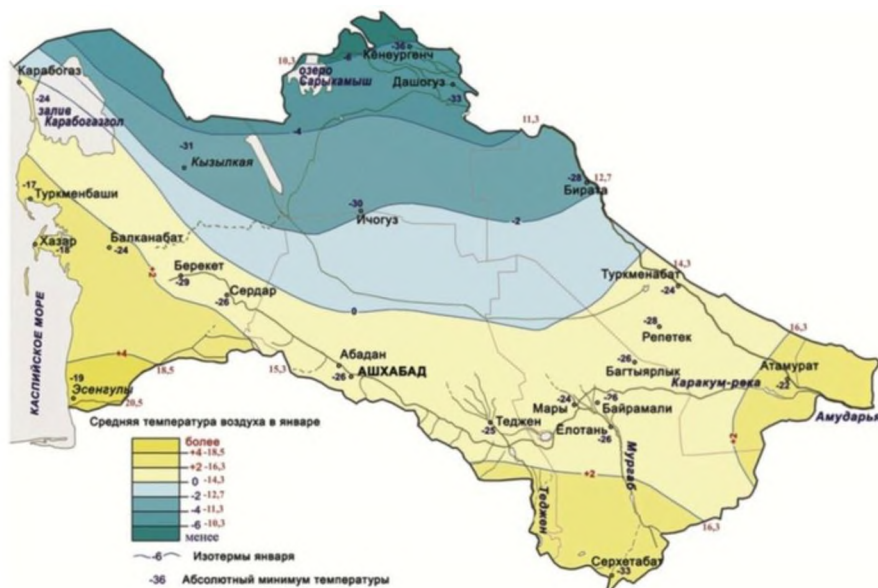


Рис. 7. Карта средней изотермы наружного воздуха и гелиотеплицы траншейного типа (красным) в январе по регионам Туркменистана

Fig. 7. A map of an average isotherm of the external air and a solar trench-type greenhouse (red) in January in the regions of Turkmenistan

Заклучение

На основе научных исследований проанализирована имеющаяся географическая информация различных альтернативных вариантов для проведения оценки и вариантов проектирования солнечных теплиц, в

той или иной области для дополнительного подбора обогрева зимой, охлаждения от перегрева летом с целью обеспечения энергоэффективности и устойчивого развития регионов Туркменистана. Исходя из полученных результатов пришли к выводам:

1. Природно-климатические условия Туркменистана и возможности выращивания различных сельскохозяйственных культур в условиях защищенного грунта, являются энергоемким хозяйством. Решение вопроса удешевления теплофикации и уменьшения капиталовложений в строительство можно решить, с использованием возобновляемых источников энергии: первичных (солнечную энергию, комбинируя теплоту грунта и геотермальных вод) и вторичных (тепловые отходы промышленных предприятий), а также различных конструкций теплиц.

2. Разработанные математические модели теплотехнических расчетов теплицы траншейного типа для определения температуры листьев и воздуха адекватно воспроизводят результаты эксперимента и теории, и дают точность решения в пределах 15 – 23 %.

На основе математических моделей и разработанной геоинформационной системы карты районирования, составленной номограммы по регионам страны для прогноза температуры воздуха в теплице, в зависимости от солнечной радиации по месяцам года. Номограммы найдут свое применение при проектировании и составлении технико-экономического обоснования теплиц; ввода в эксплуатацию сооружений, мощностей обогревателя, необходимых затрат на тепловой обогрев, охлаждение и так далее. С помощью ГИС карты и номограммы можно решить энергетические, экономические, экологические, социальные вопросы для реализации государственной продовольственной программы Туркменистана и энергосбережения.

3. Приведенные методы расчета, предложенные средства экономии энергии дают возможность составить график распределения тепловой энергии по месяцам года, определить стоимость, необходимую для поддержания оптимальной температуры воздуха в гелиотеплице при различных видах топлива в течение года.

4. Техничко-экономические показатели, приведенные в работе, подтверждают воз-

можность энергоэффективности, а также несомненную перспективность и экономическую рентабельность выращивания различных культур в Туркменистане и в условиях защищенного грунта с использованием возобновляемых источников энергии и промышленных тепловых отходов.

Информация о конфликте интересов: авторы не имеют конфликта интересов для декларации.

Conflicts of Interest: authors have no conflict of interests to declare.

Список литературы

1. Бердымухамедов, Г.М. Государственное регулирование социально-экономического развития Туркменистана // Том 1. А.: Туркменская государственная издательская служба, 2010.
2. Ануфриев, Л.Н., Кожин, И.А., Позин, Г.М. Теплофизические расчеты сельскохозяйственных производственных зданий. М.: Стройиздат, 1974. 216с.
3. Байрамов, Р., Рыбакова, Л.Е. Микроклимат теплиц на солнечном обогреве. Ашхабад: Ылым, 1983. 88 с.
4. Куртнер, Д.А., Усков, И.Б. Климатические факторы и тепловой режим в открытом и защищенном грунте. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 231 с.
5. Пенжиёв, А.М. Агротехника выращивания дынного дерева (*Carica papaya L.*) в условиях защищенного грунта в Туркменистане. Автореф. дис. уч. степени доктор сельхоз. наук. Москва, 2000. 54 с.
6. Пенджиёв, А.М. Математическая модель теплотехнических расчетов микроклимата траншейной солнечной теплицы // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2010. №7. С. 62-70.
7. Пенджиёв, А.М. Математическое моделирование микроклимата в солнечной теплице траншейного типа //Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2010. №8. С.60-69.
8. Пенджиёв, А.М. Экологические проблемы освоения пустынь. Монография, Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 226 с.
9. Пенжиёв, А.М. Изменение климата и возможности уменьшения антропогенных

нагрузок // Монография. LAMBERT Academic Publishing, 2012. 166 с.

10. Пенжиёв, А.М. Основы ГИС в развитии возобновляемой энергетики. Монография, Издатель: LAP LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 208 с.

11. Пенджиев, А.М., Пенжиева, Д.А. Возможности использования геотермальных вод для теплоснабжения теплиц Туркменистана // В кн. «Энергосберегающие технологии в сельском хозяйстве». Материалы международной конференции, 2008. Москва. ВИЭСХ. с. 37-45.

12. Пенджиев, А.М., Пенжиева, Д.А. Ресурсы и эффективность использования геотермальных вод. Монография, Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 224 с.

13. Рыбакова, Л.Е., Пенжиёв, А.М. Энергия барада сохбет. А.: Магарыф, 1993.

14. Стребков, Д.С., Пенджиев, А.М., Мамедсахатов, Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане // Монография. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. 496 с.

References

1. Berdymukhamedov, G. M. (2010), *Gosudarstvennoe regulirovanie social'no-ekonomicheskogo razvitiya Turkmenistana* [Government control of the social and economic development of Turkmenistan], Turkmen State Publishing Service, Turkmenistan.

2. Anufriev, L. N., Kozhinov, I. A. and Pozin, G. M. (1974), *Teplofizicheskie raschety sel'kohozyajstvennykh proizvodstvennykh zdaniy* [Thermophysical calculations of agricultural industrial buildings], Stroyizdat, Moscow, Russia.

3. Bairamov, P. and Rybakova L. E. (1983), *Mikroklimat teplic na solnechnom obogreve* [Microclimate of hothouses on solar heating], Ylym, Ashkhabad, Turkmenistan.

4. Kurtener, D. A. and Uskov, I. B. (1982), *Klimaticheskie faktory i teplovoj rezhim v otkrytom i zashchishchennom grunte* [Climatic factors and a thermal mode in the open and protected ground], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.

5. Penjiyev, A. M. (2000), The agriculture of cultivation of a melon tree (*Carica papaya* L.) in the conditions of the protected ground in Turkmenistan, Abstract of doctoral thesis in agriculture, Moscow, Russia.

6. Penjiyev, A. M. (2010), "A mathematical model of heating-performance microclimate

calculations of a solar sunk hothouse", *Alternative power and ecology*, 7, 62-70.

7. Penjiyev, A. M. (2010), "Mathematical microclimate modelling in a solar sunk hothouse", *Alternative power and ecology*, 8, 60-69.

8. Penjiyev, A. M. (2014), *Ekologicheskie problemy osvoeniya pustyn'* [The environmental problem of development of deserts], LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken, Germany.

9. Penjiyev, A. M. (2012), *Izmenenie klimata i vozmozhnosti umen'sheniya antropogennykh nagruzok* [Climate change and possibility of reduction of anthropogenic impact], LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken, Germany.

10. Penjiyev, A. M. (2017), *Osnovy GIS v razvitiy vozobnovlyemoj ehnergetiki* [GIS elements in the development of renewed power], LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken, Germany.

11. Penjiyev, A. M. and Penjiyeva, D. A. (2008), "The possibility of using geothermal waters for a heat supply for hothouses of Turkmenistan", *Energoberegayushchie tekhnologii v sel'skom hozyajstve* [Power-saving technologies in agriculture], Moscow, Russia, 37-45.

12. Penjiyev, A. M. and Penjiyeva, D. A. (2015), *Resursy i ehffektivnost' ispol'zovaniya geotermal'nykh vod* [Resource and efficiency of the use of geothermal waters], LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken, Germany.

13. Rybakova, L. E. and Penjiyev, A. M. (1993), *Energiya barada sohbet* [The energy of barada sohbet], Magaryf, Ashkhabad, Turkmenistan.

14. Strebkov, D. S., Penjiyev, A. M. and Mamedsalhatov, B. D. (2012), *Razvitie solnechnoj ehnergetiki v Turkmenistane* [Development of solar power in Turkmenistan], GNU VIESH, Moscow, Russia.

Пенджиев Ахмет Мырадович, кандидат технических наук, доктор сельскохозяйственных наук, академик МАНЭБ, Ашхабад-32, Туркменистан

Penjiyev Akhmet Myradovich, Candidate of Technical Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of MANEB, Ashkhabad-32, Turkmenistan