

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И УЧЕТ НА ПРЕДПРИЯТИИ
ECONOMICS MANAGEMENT AND ACCOUNTING AT THE ENTERPRISE

УДК 551.5:631.436

DOI: 10.18413/2409-1634-2017-4-1-66-79

Пенджиев А.М.

**ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОНОМИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ
В ТЕПЛИЦАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

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

Аннотация

Целью исследования является изучить физические и технологические возможности экономии тепловой энергии и научно обосновать энергоэффективность создания микроклимата солнечной теплицы траншейного типа.

Задачей исследования является технологически решить вопрос уменьшения энергоемкости теплицы с помощью ограждающих конструкций.

Методология. С учетом природно-климатологических условий составлена математическая модель теплотехнических расчетов. Определено влияние термического сопротивления на теплопотери ограждающих конструкций по объему и площади культивационного сооружения.

Результаты. На основе составленной математической модели теоретически и экспериментально исследованы физические и технологические возможности экономии тепловой энергии и научно обоснованы энергоэффективность микроклимата солнечной теплицы траншейного типа. Приведен температурный режим в зависимости от проникающей солнечной радиации в теплицу в регионах Туркменистана. Изучен температурный режим воздуха в теплице и наружного воздуха в зависимости от оптических свойств ограждения конструкции и температуры для проектирования теплиц, подбора мощности дополнительного обогрева зимой, охлаждения летом от перегрева, с целью экономии энергоресурсов в регионах Туркменистана. Проанализирован вопрос удешевления тепличного продукта, теплофикации и уменьшения капиталовложений в строительство котельных, которые можно решить путем: повышения термического сопротивления ограждающих конструкций при сохранении высоких оптических свойств в биологически активной области спектра; снижения воздухопроницаемости ограждения, которое приведет к сокращению расхода тепла на обогрев инфильтрирующегося в теплицу воздуха; уменьшения объема культивационного сооружения и сокращения площади ограждающих его конструкций; рациональное распределение источников тепла в воздушном пространстве культивационного сооружения; при комбинированном использовании возобновляемых источников энергии (создание условий для максимальной аккумуляции солнечной энергии, тепло грунта) с промышленными тепловыми.

Заключение. Исследованы термические характеристики солнечных теплиц для выращивания различных сельскохозяйственных культур в условиях Туркменистана. Предложены вопросы удешевления тепличного продукта, теплофикации и

уменьшения капиталовложений в строительство дополнительного отопительного и охлаждающего оборудования с целью экономии энергоресурсов. Полученные результаты, дадут, возможность обеспечить, устойчивое развитие регионов страны и интродукцию возделывания, перспективы выращивания сельскохозяйственных культур в аридных районах Туркменистана с использованием возобновляемых источников энергии и тепловых отходов.

Ключевые слова: солнечная теплица; технико-экономические показатели; ограждающие конструкции теплиц; температурный режим; энергоэффективность; Туркменистан

Akhmet M. Penjiyev

**POSSIBILITIES OF SAVING HEAT ENERGY
IN GREENHOUSES OF THE AGRICULTURAL
ENTERPRISES**

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

Abstract

The research is aimed at the study of physical and technological possibilities of saving thermal energy and scientific justification of energy efficiency of creating microclimate in the solar greenhouse of trench type.

The research objective is to technologically solve the problem of reduction of power consumption of greenhouses by means of enclosing structures.

Methodology. Based on the natural and climatological conditions, a mathematical model of thermal engineering calculations has been made, aimed at determining the effect of thermal resistance on the heat loss of enclosing structures in terms of volume and area of the cultivation structure.

Results. On the basis of the mathematical model, the physical and technological possibilities of thermal energy saving were theoretically and experimentally investigated, and the energy efficiency of the solar greenhouse microclimate of trench type was scientifically proved. The temperature regime depending on the solar radiation penetrating into the greenhouse in the regions of Turkmenistan was given. The temperature regime of the air in a greenhouse and the outside air was studied, depending on the optical properties of an enclosing structure and the temperature for design of greenhouses, selection of power of additional heating in winter, cooling in summer, for the purpose of economy of energy resources in the regions of Turkmenistan is studied. The article analyzes the issue of reducing the cost of greenhouse product, heat supply and reducing investments in the construction of boilers, which can be solved by: increasing the thermal resistance of enclosing structures while maintaining high optical properties in the biologically active region of the spectrum; reducing the breathability of enclosing structures, which will reduce the heat consumption for heating of the air infiltrated into the greenhouse; reducing the volume of cultivation facilities and reducing the area of enclosing structures; rational distribution of heat sources in the airspace of the cultivation facility; when using renewable energy sources (creation of conditions for maximum accumulation of solar energy, ground heat) in combination with industrial thermal.

Conclusion. Thermal characteristics of solar greenhouses for cultivation of various crops in the conditions of Turkmenistan were investigated. The questions of reducing

the cost of greenhouse product, heating and reducing investment in the construction of additional heating and cooling equipment in order to save energy were proposed. The obtained results will provide an opportunity to ensure the sustainable development of the regions of the country and the introduction of cultivation, the prospects of growing crops in arid regions of Turkmenistan, using renewable energy sources and thermal waste.

Keywords: solar greenhouse; technical and economic indicators; enclosing structures of greenhouses; temperature regime; energy efficiency; Turkmenistan

Введение

Актуальность проблемы. Важнейшим стратегическим ориентиром, проводимым Президентом Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедовым в аграрном секторе, является наращивание объемов производства разнообразной сельскохозяйственной продукции, развитие агропромышленного комплекса, рациональное использование природных ресурсов земли и воды, селекция различных сельскохозяйственных культур, выведение новых сортов хлопчатника, научное обоснование повышения их урожайности, что обеспечит в стране продовольственное изобилие [1].

Продовольственной программой страны предусматривается значительное увеличение производства продуктов овощеводства. Для нормального обеспечения овощами населения по расчетам специалистов необходимо не менее 2 м площади на человека. Важную роль при решении Продовольственной программы играют разработка и создание культивационных 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 расходов 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 первоочередное 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 своевременное и высококачественное осуществление 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 и обоснование необходимости перечисленных мероприятий;

✓ прогноз их эффективности (оценка прироста урожая по отдельным культурам).

Целью исследования является, изучить термические характеристики солнечных теплиц для выращивания различных сельскохозяйственных культур в условиях Туркменистана, а также рассмотреть вопрос удешевления тепличного продукта, теплофикации и уменьшения капиталовложений в строительство дополнительного отопительных и охлаждающих оборудовании с целью экономии энергоресурсов. Полученные результаты, дадут, возможность обеспечить, устойчивое развитие регионов страны и интродукцию возделывания, перспективы выращивания сельскохозяйственных культур в аридных районах Туркменистана с использованием возобновляемых источников энергии и тепловых отходов.

Для достижения этих целей решались следующие задачи:

- исследовать природно-климатические условия с целью определения возможности круглогодично выращивания различных сельскохозяйственных культур в климатической зоне Туркменистана;
- изучить агрометеорологические факторы, влияющие на микроклимат солнечной теплицы по регионам страны;
- составить математическую модель теплотехнических параметров микроклимата солнечной теплицы траншейного типа с учетом климатических условий регионов Туркменистана;
- анализировать вопрос удешевления тепличного продукта, теплофикации и уменьшения капиталовложений в строительство котельных;
- рассмотреть повышение термического сопротивления ограждающих конструкций при сохранении высоких оптических свойств в биологически активной области спектра и снижение воздухопроницаемости ограждения, что приведет к сокращению расхода тепла на обогрев инфильтрующегося в теплицу воздуха;
- рассчитать технико-экономическую энергоэффективность предпосылки использования традиционных источников топлива

для обогрева теплиц зимой и охлаждения от перегрева теплицы летом по регионам Туркменистана и провести их сравнительный анализ.

Научная новизна работы заключается в составленной математической модели теплотехнических параметров микроклимата солнечной теплицы траншейного типа с учетом агроклиматических условий регионов Туркменистана.

Физические и технологические возможности экономии тепловой энергии

Методология теоретических расчетов. Защищенный грунт, как было отмечено выше, является весьма энергоемкой отраслью сельскохозяйственного производства. Для примера укажем, что для обогрева 1 га зимних стеклянных теплиц требуется около 5000 кВт. В этой связи большой практический интерес представляет изыскание эффективных путей снижения расходов тепла на обогрев теплиц.

Накопленный наукой и практикой опыт показывает, что для достижения указанной цели имеются следующие возможности:

- повышение термического сопротивления ограждающих конструкций при сохранении высоких оптических свойств в биологически активной области спектра;
- снижение воздухопроницаемости ограждения, что приводит к сокращению расхода тепла на нагревание инфильтрующегося в теплицу воздуха;
- уменьшение объема культивационного сооружения и сокращение площади ограждающих его конструкций;
- рациональное распределение источников тепла в воздушном пространстве культивационного сооружения;
- создание условий для максимальной аккумуляции солнечной энергии.

Рассмотрим, что может дать практическая реализация этих возможностей [5-7].

Влияние термического сопротивления ограждающих конструкций на теплотери. Оценка термического сопротивления ограждающих конструкций R можно осуществить по следующей формуле:

$$R = R_B + R_T + R_H \quad (1)$$

$$R_T = \sum_i^n \frac{l_i}{\lambda_i},$$

где R_B и R_H – сопротивления теплопереходу на внутренней и наружной поверхностях ограждения; l_i и λ_i – соответственно толщина и коэффициент теплопроводности i -го слоя.

Из формулы (1) видно, что R складывается из собственного термического сопротивления R_T , определяемого толщиной ограждения и теплопроводностью материалов, из которых оно состоит, а также из сопротивлений теплопереходу на внутренней и наружной поверхностях R_B и R_H .

Рассмотрим физические и технические возможности увеличения термических сопротивлений R_B , R_T и R_H . Расчеты показывают, что существенное увеличение R_T дает применение ограждающих конструкций из двух светопрозрачных тонких стенок, разделенных воздушным промежутком. Например, при реализации такого ограждения из силикатного стекла R_T возрастает в 40 раз по сравнению с термическим сопротивлением однослойного ограждения. Расход тепла сокращается на 30 % [5-12].

Однако в случае применения многослойного ограждения заметно ухудшается световой режим в культивационных сооружениях, так как прозрачность такого ограждения уменьшается в 1,2-1,3 раза. Поскольку во многих районах освещенность культивационного сооружения является лимитирующим развитие растений фактором, то такой способ увеличения собственного термического сопротивления ограждения нельзя считать перспективным.

Один из путей решения задачи повышения термического сопротивления R_T при сохранении высокой прозрачности ограждения базируется на фотопериодизме растений. Он реализуется с помощью динамического процесса, при котором

$$R_T = \begin{cases} R_{Tmin} \varphi = \varphi_{max} & \text{днем} \\ R_{Tmax} & \text{0 ночью} \end{cases} \quad (2)$$

Этот процесс осуществляется весьма просто. В ночное время применяются вре-

менные теплозащитные укрытия типа штор, которые днем убираются. Расчеты показывают, например, что в теплице с однослойным стеклянным ограждением $R_{min} = 0,005$ ($\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$), а $R_{max} = 0,2$ ($\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$).

Применение теплозащитных штор только в ночное время позволяет экономить значительное количества тепла. В работе [4] указывается, что суточные теплопотери в этом случае сокращаются на 20-25 %. В Швеции таким путем удается снизить расход топлива на 35-40 % [2-4].

Исследованию и разработке теплозащитных штор и укрытий посвящено большое число публикаций. Обзор их сделан Н. А. Нестругиным [7]. Остановимся кратко на некоторых оригинальных конструкциях. В ФРГ [6] для изготовления теплозащитных экранов создана пленка с воздушными ячейками. Ячейки имеют по горизонтали диаметр: 5, 10 и 30 мм при высоте соответственно 3, 4 и 8 мм. Предложено также применять пленочные рукава в качестве теплозащитного экрана. С помощью вентилятора небольшой мощности в эти рукава подается воздух. Они надуваются и плотно прилегают друг к другу, образуя у внутреннего ограждения теплицы сплошную воздушную подушку. Такой теплозащитный экран позволяет снижать теплопотери на 35-40 % [7, 8].

Итак, рассмотрены основные пути регулирования величины R_T . Перейдем к анализу возможных способов воздействия на термические сопротивления R_B и R_H . Эти величины можно определить по формуле (3).

$$R_j = 1/\alpha_{л}^j + 1/\alpha_{к}^j, \quad j = \text{в, н} \quad (3)$$

где $\alpha_{л}^j$ и $\alpha_{к}^j$ – коэффициенты теплоотдачи излучением и конвекцией, индексы «в» и «н» обозначают внутреннюю и наружную поверхности. Целенаправленное изменение коэффициентов $j = \text{в, н}$ являющихся, главным образом, функциями температурных напоров и скоростей движения воздуха, весьма затруднительно. Для регулирования величин $\alpha_{л}^j$ имеются определенные возможности. Дело в том, что $\alpha_{л}^j$ зависят от лучистых характеристик светопрозрачных материалов. Применяя

для изготовления ограждающих конструкций материалы с определенными лучистыми характеристиками, представляется возможным целенаправленно изменять величины $\alpha_{\text{л}}^j$ следовательно и R_j .

Детальный анализ эффективности такого пути регулирования термических сопротивлений осуществлен в работе [5]. Очевидно, что значения $\alpha_{\text{л}}^j$ уменьшаются, если относительный коэффициент теплового излучения не убывает, а коэффициент отражения длинноволнового лучистого потока возрастает. Авторами работы [2-5] проведен расчет ночного термического режима в неотапливаемом культивационном сооружении при различных сочетаниях ϵ_j , ($j = \text{в, н}$). Результаты расчета (рис. 1) показывают, что наименьшая температура наблюдается при

$\epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0.95$. (ограждение из обычного стекла). Существенно повышается температура при $\epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0.25$. Этот вариант соответствует применению в ограждающих конструкциях стекол, обе поверхности которых покрыты пленкой из двуокиси олова.

Наибольший термический эффект наблюдается при $\epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0$ (ограждение с идеальными селективными свойствами). В работе [2-5] показано, что в отапливаемых культивационных сооружениях с идеальными селективными свойствами ограждающих материалов расходы на обогрев можно снизить на 13-5%, а при применении стекла, покрытого пленкой двуокиси олова, на 9-36% по сравнению с сооружениями из обычного стекла.

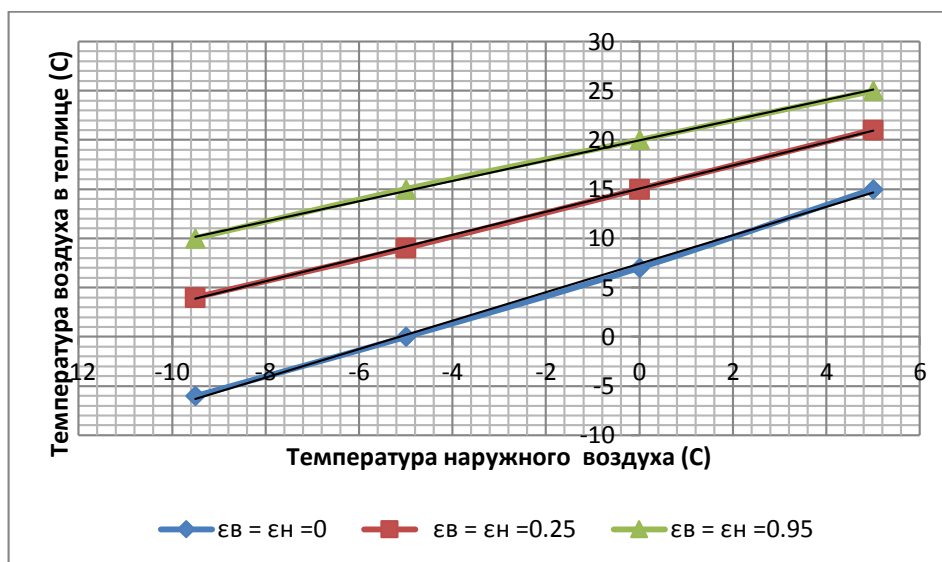


Рис. 1. Зависимость температуры воздуха в теплице $T_{\text{в}}$ от оптических свойств ограждения $\epsilon_{\text{в}}$, $\epsilon_{\text{н}}$ и температуры наружного воздуха $T_{\text{н}}$.

При условиях: $\epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0$; $\epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0.25$; $\epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0.95$

Fig. 1. Dependence of temperature of the air in a $T_{\text{в}}$ hothouse on optical properties of an enclosing structure $\epsilon_{\text{в}}$, $\epsilon_{\text{н}}$ and temperatures of external air of $T_{\text{н}}$.

Under conditions: $\epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0$; $\epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0.25$; $\epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0.95$

При расчетах условиях уравнения регрессии и коэффициент корреляция равен:

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0; & \quad y = 1,4445x + 7,4307; & \quad R^2 = 0,9982; \\ \epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0.25; & \quad y = 1,1758x + 15,042; & \quad R^2 = 0,9997; \\ \epsilon_{\text{в}} = \epsilon_{\text{н}} = 0.95; & \quad y = 1,0303x + 19,947; & \quad R^2 = 0,9994. \end{aligned}$$

Как видно, коэффициент корреляции колеблется от 0,9982 до 0,9994, это оценивает

очень высокую взаимосвязь. Уравнения регрессии выравнивает теоретическую и эмпи-

рическую линию температуры наружного и внутреннего воздуха в теплице при различных оптических свойствах ограждения.

Влияние объема культивационного сооружения и площади его ограждения на теплопотери. Объем культивационного сооружения V и площадь его ограждения $F_{огр}$ определяются через коэффициенты объема ξ и ограждения η :

$$V = \xi F, \quad F_{огр} = \eta F, \quad (4)$$

где F – площадь культивационного сооружения. При $F = \text{const}$ величины V и $F_{огр}$ являются линейными функциями от ξ и η . Поэтому влияние объема культивационного сооружения и площади его ограждения на теплопотери можно оценить, используя зависимость термического режима от коэффициентов ξ и η . Такой анализ был проведен в работе [2-4]. На модели нестационарного теплообмена были рассчитаны значения разности $T_{вв}-T_{в}$.

Обсуждения результатов. Расчеты выполнялись при различных сочетаниях ξ и η , характерных для основных типов культивационных сооружений: малогабаритных углубленных сооружений (парников), малогабаритных надземных укрытий и теплиц.

Для упрощения задачи анализ производился только для ночного времени ($q_p^* = 0$) и при условии, что теплообмен на границе «почва – воздух» не происходит ($q_{п} = 0$). Кроме того, полагалось, что в начальный момент времени температура воздуха в культивационном сооружении равна температуре наружного воздуха, т. е. $T_{вв}-T_{в} = 0$, а система отопления характеризуется весьма малой термоинерционностью и работает при постоянной мощности.

В качестве исходных данных принималось также, что $R = 0,17 \text{ (м}^2 \text{ °С)/Вт}$, $\xi=3\text{ч}^{-1}$, $q_{об}=175 \text{ Вт/м}^2$. Конструктивные характеристики задавались в следующих сочетаниях: для парников $\eta = 1$, $\zeta = 0,25$; для малогабаритных надземных сооружений $\eta = 1,5$, $\zeta = 0,5$; для теплицы $\eta = 1,3$, $\zeta = 3 \text{ м}$. Результаты расчетов представлены на рис. 2. Они показывают, что в одинаковых метеорологических условиях и при равенстве удельной мощности отопительных систем температура воздуха в малогабаритных углубленных сооружениях (парниках) оказывается значительно выше, чем в малогабаритных надземных сооружениях и в ангарных теплицах.

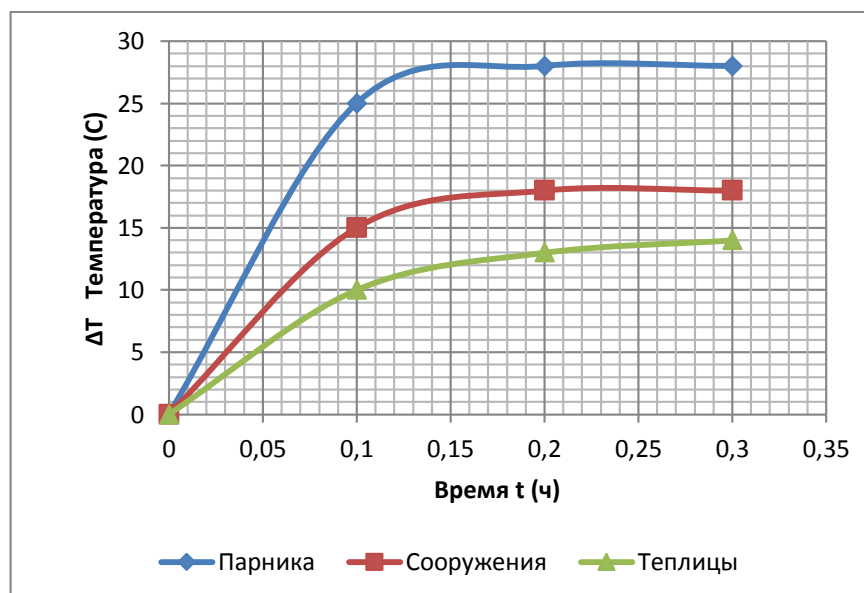


Рис. 2. Отопительный эффект $\Delta T_{в}$ парника (1), надземного малогабаритного сооружения (2) и теплицы (3) при одинаковой мощности системы обогрева

Fig. 2. Heating effect ΔT_{V} of a hotbed (1), an elevated small-sized construction (2) and hothouses (3) at identical capacity of a heating system

Уравнения регрессии, коэффициент корреляции соответственно равен:

1) парника: $y = 87x + 7,2$; $R^2 = 0,6847$;

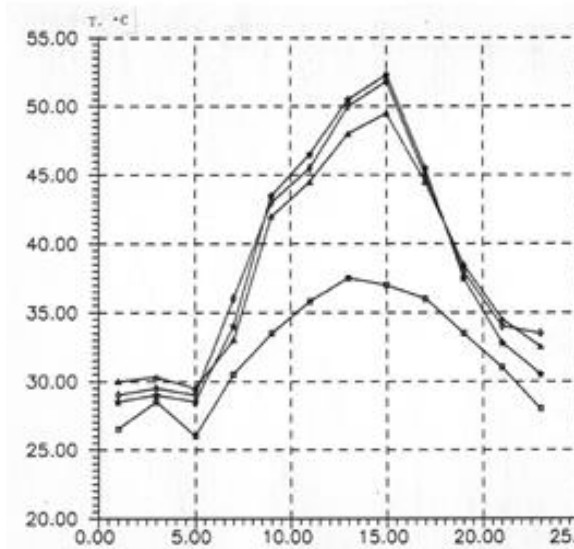
2) малогабаритное культивационное сооружение: $y = 57x + 4,2$; $R^2 = 0,7293$;

3) теплицы: $y = 45x + 2,5$; $R^2 = 0,8248$.

Таким образом, графическое представление и математический анализ сочетания коэффициентов η и ζ , характерных для парников, можно рассматривать как более предпочтительное в смысле экономии энергии.

Влияние распределения температуры воздуха в культивационном сооружении на теплопотери. Температурное поле в

воздушном пространстве солнечного культивационного сооружения определяется рядом факторов, из которых наиболее существенными являются размещение источников тепла, а также условия теплообмена на наружной поверхности ограждения (в частности, характер воздействия погодных условий). Если источники тепла распределены в воздушном пространстве неравномерно, то температурное поле может оказаться неоднородным. Для примера на рис.3 показано экспериментальные исследования распределение температур воздуха по высоте в солнечной теплице траншейного типа.



- - температура наружного воздуха;
- ◇ - температура воздуха на высоте 0,2 м;
- △ - температура воздуха на высоте 1,88 м;
- ☆ - температура воздуха на высоте 3,56 м.

Рис. 3. Распределение температуры воздуха по высоте в солнечной теплице

Fig. 3. Distribution of temperature of the air on height in a solar hothouse

Как видно из графиков, температура в теплице с утра, после восхода солнца, начинает подниматься и доходит до максимума этого дня примерно в 14-15 часов, затем резко понижается до 21 часов, затем понижение продолжается плавно до 6 часов утра. Время наступления минимума температуры зависит от температуры наружного воздуха, а так же от высоты расположения термодатчика прибора, то есть с высотой раньше наблюдается снижение температуры воздуха.

Такой ход изменения температуры объясняется следующим: приход энергии Солнца достигает своего наибольшего значения к 12-13 часам, естественно, в это же время температура воздуха растет. Затем поступление солнечной энергии уменьшается, и температура воздуха понижается, а плавное понижение температуры в ночное время происходит за счет с аккумулированной энергии в стенах, почве [5-7].

Температура наружного воздуха в летнее время снижается плавно и доходит до своего минимума (26.3°C) в 5 часов утра. В 14 часов наблюдается наибольшее значение температуры (37.5°C).

На графике видно, что на высоте 3.56 м наименьшая температура воздуха достигается на один час позднее, чем снаружи сооружения, что объясняется влиянием с аккумулярованной за день энергии в теплице.

Теплопередача наружному воздуху из теплицы через наземную часть больше, поэтому показание третьего верхнего термографа, установленного на высоте 3.56 м, опаздывает на 20-30 минут и достигает наименьшего значения 28.0°C , а показание второго, то есть установленного на высоте 1.88 м, имеет опоздание примерно на 30-40 минут и достигает 28.5°C , показание первого, установленного на высоте 0.2 м, достигает своего минимума 29.5°C через 50 минут.

Затем с попаданием лучей солнца внутрь теплицы температура воздуха начинает расти, между 9 и 11 часами утра подъем температуры идет медленно, это объясняется тем, что лучи солнца начинают скользить по ограждающей поверхности, а в период с 11 до 13 часов наблюдается наиболее интенсивный разогрев теплицы. Наибольшего значения показания первого термографа достигают в 15 часов (49.5°C), второго в 14 часов 40 минут (52°C), третьего в 14 часов 30 минут (52.8°C). Ночью температура воздуха в нижней части выше, так как боковые стены, почва теплицы начинают отдавать аккумулярованное за день тепло, теплый воздух поднимается вверх и в результате теплоотдачи через стекло тепло передается наружу. Поэтому показания термодачника, установленного на высоте 3.56 м, на 2 градуса выше, чем у наружного, у второго термографа, установленного на высоте 1.88 м, на 2.5 градуса, у первого термографа на высоте 0.2 м на 3.5 градуса. Это при минимальном снижении температуры, а при максимальном повышении температуры в зависимости от наруж-

ного воздуха первый термограф показывает температуру выше на 12°C , второй – на 14.5°C , третий – на 15.0°C выше, чем наружный термограф.

Количественно оценить влияние неоднородности температурного поля на теплотопотери можно исходя из следующих соображений. Суммарные теплотопотери Q можно определить по формуле 5:

$$Q = C (T_{\text{вв}}^{\text{ср}} - T_{\text{в}}), \quad (5)$$

где C – константа; $T_{\text{вв}}^{\text{ср}}$ – средняя температура воздуха у внутренней поверхности ограждения (за пределами пограничного слоя).

Из-за неравномерности температурного поля значение может значительно превышать температуру воздуха в среде обитания надземных органов растений $T_{\text{вв}}^{(p)}$ (в рабочей зоне). Так как значение $T_{\text{вв}}^{(p)}$ является определяющим, то очевидно, что наименьшие теплотопотери, а следовательно, и расходы энергии на обогрев будет иметь место тогда, когда разность $T_{\text{вв}}^{(\text{ср})} - T_{\text{вв}}^{(p)}$ будет наименьшей при одном и том же температурном режиме в рабочей зоне. Введем обозначение:

$$\beta_{\text{T}} = (T_{\text{вв}}^{(p)} - T_{\text{в}}) / (T_{\text{вв}}^{(\text{ср})} - T_{\text{в}}) \quad (6)$$

Тогда формулу (5) можно записать так:

$$Q = C (T_{\text{вв}}^{(p)} - T_{\text{в}}) / \beta_{\text{T}} \quad (7)$$

Из формулы (7) видно, что безразмерный параметр β_{T} можно использовать в качестве критерия при оценке эффективности того или иного способа организации теплого режима в культивационном сооружении. Чем ближе значение β_{T} к 1, тем меньше теплотопотери [5-7, 10-12].

Эмпирическая зависимость. На основе описанных тепло-физических процессов в солнечной теплице траншейного типа и применив математические методы получили следующие выражения для пасмурного дня, падающую прямую солнечную радиацию (I), температуры наружного воздуха ($T_{\text{н}}$), внутри теплицы ($T_{\text{в}}$), почвы ($T_{\text{п}}$) и стен ($T_{\text{ст}}$) на поверхности и в глубине 0,1 см в виде разложенных ряды Фурье:

$$T_n = 1,57 + 2,03\cos(0,26t - 0,865) + 0,149\cos(0,52t + 1,028) + 0,39\cos(0,78t - 1,48) \quad (8)$$

$$I = 50,58 + 84,38\cos(0,26t - 0,56) + 48,09\cos(0,52t - 1,3) + 24,42\cos(0,78t + 0,5) \quad (9)$$

$$T_b = 4,62 + 2,04\cos(0,26t - 1,38) + 0,399\cos(0,52t - 0,415) + 0,31\cos(0,78t - 0,527) \quad (10)$$

$$T_n \Big|_{x=0} = 9,1 + 2,86\cos 0,26t + 1,043\cos 0,52t + 0,49\cos 0,78t \quad (11)$$

$$T_{ст} \Big|_{x=0} = 7,82 + 2,69\cos 0,26t + 0,95\cos 0,52t + 0,464\cos 0,78t \quad (12)$$

$$T_n \Big|_{x=0,1} = 9,98 + 1,27\cos 0,26t + 0,336\cos 0,52t + 0,12\cos 0,78t \quad (13)$$

$$T_{ст} \Big|_{x=0,1} = 8,96 + 0,627\cos 0,26t + 0,174\cos 0,52t + 0,06\cos 0,78t \quad (14)$$

Для сопоставлений расчета с экспериментом рассматривали зимой солнечный день, когда теплица не отапливалась. При расчете не принимались во внимание испа-

рение с поверхности почвы, стен, конденсация на стекле и растениях. Сначала разложили в ряды Фурье температуру наружного воздуха T_n , прямую солнечную радиацию I .

$$T_n = 12,58 + 10\cos(0,26t + 0,181) + 3,27\cos(0,52t - 0,436) + 1,39\cos(0,78t + 0,235) \quad (15)$$

$$I = 129,87 + 217,96\cos(0,26t + 0,134) + 120,38\cos(0,52t - 0,262) + 26,95\cos(0,78t - 0,302) \quad (16)$$

Подставив в выражения (10 – 13) T_n и I , получаем зависимости, описывающие

температурный режим воздуха, почвы, стен:

$$T_b = 16,2 + 8,35\cos(0,26t + 0,279) + 2,8\cos(0,52t - 0,08) + 0,97\cos(0,78t + 1,42) \quad (17)$$

$$T_n \Big|_{x=0} = 21,1 + 8,59\cos 0,26t + 3,19\cos 0,52t + 0,72\cos 0,78t \quad (18)$$

$$T_{ст} \Big|_{x=0} = 20,48 + 8,39\cos 0,26t + 3,01\cos 0,52t + 0,73\cos 0,78t \quad (19)$$

$$T_n \Big|_{x=0,1} = 19,58 + 3,78\cos 0,26t + 1,01\cos 0,52t + 0,17\cos 0,78t \quad (20)$$

$$T_{ст} \Big|_{x=0,1} = 19,08 + 2,5\cos 0,26t + 0,04\cos 0,52t + 0,095\cos 0,78t \quad (21)$$

Экспериментальные исследования.

Для расчета использовались следующие параметры гелиосооружения: площадь почвы теплицы $F_n = 89 \text{ м}^2$; стен $F_{ст} = 78 \text{ м}^2$; термоэкрана $F_{от} = 89 \text{ м}^2$; прозрачного ограждения $F_{огр} = 196 \text{ м}^2$. Термofизические характеристики: коэффициент поглощения стены $A_{ст} = 0,35$; почвы $A_n = 0,5$; коэффициент теплопроводности ограждения $K = 5,38 \text{ Вт/м}^2$; коэффициент инфильтрации для теплицы со стеклянным ограждением $R = 1,2$, для термоэкрана из полиэтиленовой пленки $r = 1,05$; кратность воздухообмена $M = 1,2$; при наличии термоэкрана $m = 0,8$; коэффициенты теплопроводности для почвы $a_n = 0,00375 \text{ м}^2/\text{час}$, стены $a_{ст} = 0,0018 \text{ м}^2/\text{час}$; удельная теплоемкость воздуха

$c_b = 1004,8 \text{ Дж/кг}^0 \text{ С}$, стекла $c_0 = 837,36 \text{ Дж/кг}^0 \text{ С}$, плотность воздуха $\gamma_b = 1,1$; $\gamma_0 = 25000 \text{ кг/м}$.

При сопоставлении экспериментальных данных с результатами теоретических расчетов рассматривали зимние солнечный и пасмурный дни, когда гелиотеплица дополнительно не обогревалась. При расчете не принималось во внимание испарение с поверхности почвы, стен и конденсация на стенах и растениях. Для практического опыта исследовали использование термоэкрана в следующих возможных условиях: повышение термического сопротивления ограждающих конструкций при сохранении высоких оптических свойств в биологически активной области спектра; снижение воздухо-

проницаемости ограждения, что приводит к сокращению расхода тепла на нагревание инфильтрирующегося в теплицу воздуха; уменьшение объема культивационного сооружения и сокращение площади ограждающих его конструкций; рациональное распределение источников тепла в воздушном

пространстве культивационного сооружения; создание условий для максимальной аккумуляции солнечной энергии [5-7,11-14].

Полученные результаты расчетов температуры воздуха в солнечный день в теплице приведены ниже:

– без термоэкрана

$$T_B = 16.2 + 8.35 \cos (0.26\tau + 0.279) + 2.8 \cos (0.52 \tau - 0.08) + 0.97 \cos (0.78 \tau + 1.42) \quad (22);$$

- с термоэкраном:

$$T_B = 21.08 + 7.21 \cos (0.26 \tau + 0.279) + 2.5 \cos (0.52 \tau - 0.08) + 0.723 \cos (0.78 \tau + 1.42) \quad (23);$$

- в пасмурный день в теплице без термоэкрана:

$$T_B = 4.62 + 2.04 \cos (0.26 \tau + 1.38) + 0.399 \cos (0.52 \tau - 0.415) + 0.31 \cos (0.78 \tau - 0.527) \quad (24);$$

- с термоэкраном:

$$T_B = 8.77 + 2.1 \cos (0.26 \tau + 1.38) + 0.636 \cos (0.52 \tau - 0.415) + 0.329 \cos (0.78 \tau - 0.527) \quad (25).$$

Количество тепла, теряемого в теплице с термоэкраном и без него, было переведено в единицу стоимости тепла в зависимости

от вида источника технического обогрева, результаты графически представлены на рисунке 4.

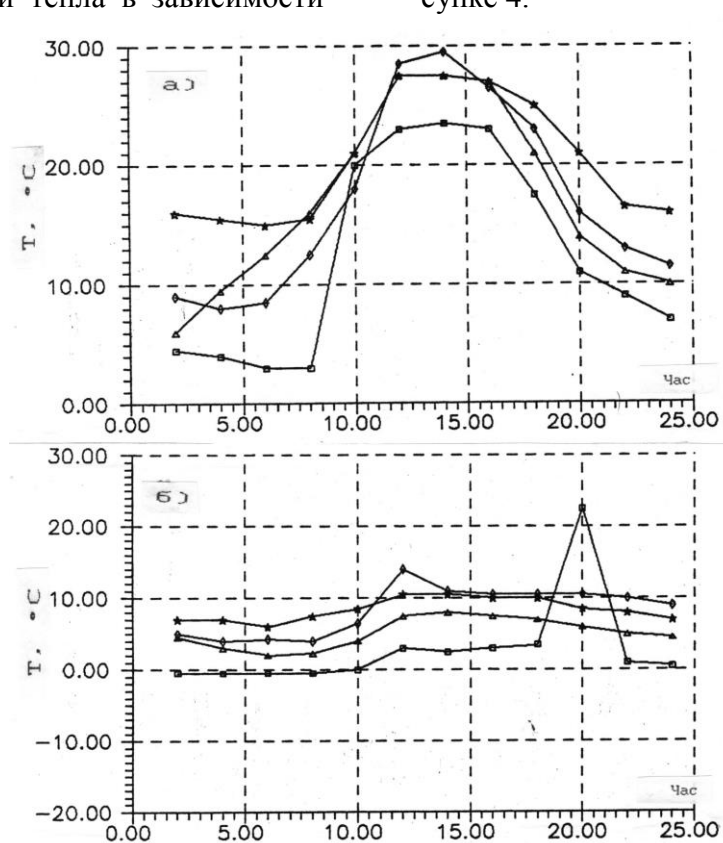


Рис. 4. Распределение температуры воздуха в теплице в солнечный (а) и пасмурный (б) дни: – наружного воздуха; – расчет; – эксперимент; – в теплице с термоэкраном
Fig. 4. Distribution of temperature in the greenhouse on sunny (a) and cloudy (b) days: – outdoor air; – calculation; – experiment; – in the greenhouse with a thermoelectric

Обсуждения результатов эксперимента. Отопительный период в условиях Туркменистана самый минимальный, он составляет 97 дней в году. Но тем ни менее, затраты составляют значительную сумму. Затраты на обогрев можно снизить, используя термоэкраны, о чем свидетельствуют экспериментальные данные 1984 г. В солнечный день с использованием термоэкрана экономится электроэнергия на сумму 163 руб. 93 коп. (127.86 \$), за отопительный сезон 268.69 руб./год (209.58 \$ /год), то есть экономится 61% тепловой энергии, при пасмурном режиме соответственно 13 руб. 43 коп. (10.47\$), 9.44% тепловой энергии. Конечно, здесь необходимо использовать дополнительный подогрев, что будет составлять 0.53 гДж для теплицы без термоэкрана, 0.47 гДж для теплицы с термоэкраном. Отсюда следует, что применение термоэкранов в теплицах выгодно с энергетической точки зрения, хотя это будет усложнять конструкцию сооружения. Наиболее оптимальный вариант экономии тепловой энергии – это комбинированное использование солнечной энергии с промышленными теплоотходами, с энергией термальных вод. В результате этого отпадает необходимость в строительстве котельной, а это дает экономию в размере около 30 тыс. рублей (23.400 \$) на каждые 1000 м² теплиц (Курс рубля по отношению к доллару США взят по данным печати 1984 г.).

Заключение

На основе имеющейся географически привязанной информации проанализированы различные альтернативные варианты для проведения оценки проектирования солнечных теплиц с дополнительным обогревом зимой, охлаждением от перегрева летом. С целью уменьшения теплоемкости тепличных хозяйств, рассмотрены возможности ограждающих физических и технических конструкций для обеспечения энергоэффективности и устойчивого развития регионов Туркменистана. В результате теоретических и экспериментальных исследований пришли к выводам:

1. Природно-климатические условия Туркменистана и возможности выращивания различных сельскохозяйственных культур в условиях защищенного грунта, является энергоемким хозяйством. Решения вопроса удешевления теплофикации и уменьшения капиталовложений в строительство можно решить, с использованием возобновляемых источников энергии; первичные (солнечную энергию, комбинируя теплоту грунта и геотермальных вод) и вторичные (тепловые отходы промышленных предприятий), а также различные конструкции теплиц.

2. Анализ агрометеорологических факторов, влияющих на микроклимат солнечных теплиц для выращивания сельхозкультур по областям страны: северный – Дашогузской; восточный – Лебапской; центральный – Ахалской; юго – западный – Балканской, свидетельствует о том, что для поддержания комфортного температурного режима (18⁰ – 22⁰ С) зимой необходимо количество тепловой энергии по регионам страны: в северном 467.3 – 968.76 МДж; в восточном 131.4 – 342.0 МДж; в центральном 83.5 – 106.2 МДж; в юго-западном 21.1 – 0000 МДж.

В летний период года для предупреждения перегрева растений и создания оптимального микроклимата для выращивания дынного дерева необходимо снять тепловой поток; в северном 1051.8 – 1412.0 МВт; в восточном 1593.4 – 1898.6 МВт; в центральном 1536.1 – 2013.7 МВт; в юго-западном 1379. – 1736.4 МВт, частично можно достичь с помощью вентиляции и затенения.

3. Экспериментальные исследованные результаты разработанной конструкции ге-лиотеплицы траншейного типа показывают, что температурно-влажностный режим в летний период отвечал условиям выращивания сельхозкультур при выполнении таких агрометеорологических мероприятий, как затенение, вентиляция, полив и другие. При затенении температура воздуха в теплице понижается на 3 – 6 градусов по сравнению с температурой наружного воздуха, при вентиляции и без затенения она выше

на 5 – 6 градусов температуры наружного воздуха, температура листьев растений меняется днем в зависимости от высоты на 0.5 градуса, температура плодов на 0.5 – 0.8 градусов меньше температуры внутреннего воздуха и ниже на 1 – 2⁰ от температуры листьев. Ночью температура воздуха и растений почти одинакова.

Зимой температура листьев и плодов меняется в зависимости от высоты растения, чем оно выше, тем выше и температура.

4. Анализированы вопросы удешевления тепличного продукта, теплофикации и уменьшения капиталовложений в строительство котельных. Рассмотрены пути повышения термического сопротивления ограждающих конструкций при сохранении высоких оптических свойств в биологически активной области спектра и снижение воздухопроницаемость ограждения, приведет к сокращению расхода тепла на обогрев инфильтрирующегося в теплицу воздуха.

5. 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. При использовании термоэкрана из полиэтиленовой пленки достигается экономия средств и снижение теплопотерь за счет уменьшения объема сооружения.

6. Физические и технико-экономические показатели, приведенные в работе, подтверждают возможность энергоэффективности, а также очевидно перспективность и экономическую рентабельность выращивания различных культур в условиях Туркменистана 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: the authors have no conflict of interest 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. 216 с.

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. Пенжиев, А.М. Агротехника выращивания дынного дерева (*Carica papaya L.*) в условиях защищенного грунта в Туркменистане. Автореф. дис. ... д-р сельхоз. наук. Москва, 2000. 54 с.

6. Пенжиев, А.М. Математическая модель теплотехнических расчетов микроклимата траншейной солнечной теплицы // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2010. №7. С.62-70.

7. Пенжиев, А.М. Математическое моделирование микроклимата в солнечной теплице траншейного типа // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2010. №8, с. 60-69.

8. Пенжиев, А.М. Экологические проблемы освоения пустынь. Монография, Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 226 с.

9. Пенжиев, А.М. Изменение климата и возможности уменьшения антропогенных нагрузок // Монография. LAMBERT Academic Publishing, 2012. 166 с.

10. Пенжиев, А.М. Основы ГИС в развитии возобновляемой энергетики. Монография, Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 308 с.

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

12. Пенджиёв, А.М., Пенжиёва, 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., Пенджиёв, А.М., Мамедсахатов, Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане // Монография. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012, 496 с.

References

1. Berdymukhamedov, G. M. (2010), "State regulation of social and economic development of Turkmenistan, part 1, *Turkmen state publishing service*.

2. Anufriev, L. N., Kozhinov, I. A. and Pozin G. M. (1974), Thermophysical calculations of agricultural production buildings, Stroyizdat, Moscow, Russia, 216.

3. Bajramov, P. and Rybakova L.E. (1983) Microclimate of greenhouses on solar heating, Ashkhabad: Ylim, Turkmenistan, 88.

4. Kurtener, D. A. and Uskov I. B. (1982), Climatic factors and thermal regime in open and protected soil, Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 23.

5. Penjiyev, A. M. (2000), Agricultural cultivation of papaya tree (*Carica papaya* L.) in conditions of protected ground in Turkmenistan, Abstract of Ph.D. dissertation, agricultural Sciences, Moscow, Russia.

6. Penjiyev, A. M. (2010), "Mathematical model of thermal calculations of the microclimate of the trench solar greenhouse", *Alternative energy and ecology*, 7, 62-70/

7. Penjiyev, A. M. (2010), "Mathematical modeling of microclimate in a solar greenhouse of trench type", *Alternative energy and ecology*, 8, 60-69.

8.

Penjiyev, A. M. (2014), *Ekologicheskie problemy osvoeniya pustyn'* [Environmental problems of desert development], LAP LAMBERT Academic Publishing, 226.

9. Penjiyev, A. M. (2012), *Izmenenie klimata i vozmozhnosti umen'sheniya antropogennyh nagruzok* [Climate change and opportunities to reduce anthropogenic pressures], LAMBERT Academic Publishing, 166.

10. Penzhiyev, A. M. (2017), *Osnovy GIS v razvitiy vozobnovlyаемoy energetiki* [Basics of GIS in renewable energy development], LAP LAMBERT Academic Publishing, 308.

11. Penjiyev, A. M. and Penjiyeva D. A. (2008), "Possibilities of using geothermal waters for heat supply of greenhouses of Turkmenistan", *Energy-saving technologies in agriculture*, Moscow, Russia, 37-45.

12. Penjiyev, A. M. and Penjiyeva, D. A. (2015), *Resursy i ehffektivnost' ispol'zovaniya geotermal'nyh vod* [Resources and efficiency of geothermal water use], LAP LAMBERT Academic Publishing, 224.

13. Rybakova, L. E. and Penjiyev, A. M. (1993), *Energiya barada sohbet* [Energy of Barad sohbet], Magaryf, Ashgabat, Turkmenistan.

14. Strebkov, D. S., Penjiyev, A. M. and Mamedsahatov B. D. (2012), *Razvitie solnechnoy ehnergetiki v Turkmenistane* [The development of solar energy in Turkmenistan], GNU VIESKH, 496.

Пенджиёв Ахмет Мырадович, кандидат технических наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член корр. РАЕ, академик МАНЭБ, Ашхабад-32, Туркменистан

Ahmet M. Penjiyev, Candidate of Technical Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Academician of MANEB, Ashkhabad-32, Turkmenistan