

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ВЫХОДЕ ИЗ ВОДЯНОГО АККУМУЛЯТОРА ТЕПЛА В ГЕЛИОТЕПЛИЦАХ

¹Файзиев Т.А., ²Садыков Ж.Д., ³Файзуллаев И.М.

¹Файзиев Тулкун Амирович.-к.т.н., Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан. E-mail: fayziyev.62@inbox.ru *ORCID ID* 0000-0002-70754-2449

²Садыков Жамол Джаббарович - ст. преподаватель, Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан. E-mail: sadikov@inbox.ru

³Файзуллаев Ихтиёр Мукимович – ст. преподаватель, Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан fayzullayev.i@mail.ru

Аннотация: В работе рассмотрены вопросы эффективного использования солнечной энергии для теплоснабжения сельскохозяйственных сооружений, предложен аналитический метод расчета температуры воздуха на выходе из водяного аккумулятора тепла в гелиотеплицах. В технологическом отношении водяной аккумулятор тепла, являясь объектом регулирования температуры воздуха на выходе из аккумулятора, выполняет процесс нагрева воздуха в гелиотеплице.

Ключевые слова: аккумулятор тепла, температурное поле, температурный режим, математическая модель, гелиотеплица.

Abstract: The paper considers the efficient use of solar energy for heat supply of agricultural buildings and proposes an analytical method for calculating the air temperature at the outlet of a water heat accumulator in solar greenhouses. Technologically, the water heat accumulator, being the object of air temperature regulation at the outlet of the accumulator, performs the process of air heating in the solar greenhouse.

Keywords: heat accumulator, temperature field, temperature regime, mathematical model, solar greenhouse.

Введение. В настоящее время актуальность расширение масштабов использования возобновляемых источников энергии стремительно растет во всем мире в связи с энергетическими и экологическими проблемами. Спрос на энергоносители и связанные с этим услуги для обеспечения социально-экономического развития и улучшения благосостояния и здоровья человека растет.

Солнечная энергия обладает практически неограниченными ресурсами и установки на её основе являются экологически более чистыми, чем другие источники энергии. Они не связаны с проблемами загрязнения окружающей среды.

Солнечная энергетика относится к быстроразвивающимся отраслям науки, техники и технологии. Основу такого развития составляет создание и совершенствование высокоэффективных энергоустановок для преобразования солнечной энергии в тепловой и электрической энергии. Сегодняшние солнечные системы уже рентабельны, надежны и просты в эксплуатации. Их использование набирает популярность в развитых странах. Это становится не только экономно, но и престижно. По литературным данным [1,2] солнечные системы могут составлять экономию топливно-энергетических ресурсов до 60–70 % и более.

Во многих странах все больше внимания уделяется практическому использованию солнечной энергии, в первую очередь для горячего водоснабжения и отопления зданий, а также созданию необходимого микроклимата в помещениях сельскохозяйственных сооружений, в которых солнечная энергия эффективно используется в течение значительной части года [3-5]. Поэтому можно сказать, что современное положение солнечной энергетике таково, что использование солнечной энергии расширяется с каждым днём.

Постановка задачи. Целью работы является эффективное использование солнечной энергии для теплоснабжения сельскохозяйственных сооружений и разработка аналитического метода расчета температуры воздуха на выходе из водяного аккумулятора тепла в гелиотеплицах.

Методы исследования. Гелиотеплица является сложным объектом с распределенными параметрами, в котором одновременно протекают теплообменные и массообменные процессы [6,7].

Ввиду того, что порядок дифференциального уравнения, описывающего температуру воздуха в гелиотеплице, определяется числом теплоаккумулирующих веществ, то порядок уравнения для гелиотеплицы данной конструкции [8,9] равен шести (если учесть теплоемкость внутреннего воздуха, водяного и подпочвенного аккумулятора тепла, почву, растительного покрова и светопрозрачного ограждения).

Расчет пленочных гелиотеплиц допустимо проводить так же, как и для стеклянных. Однако необходимо принимать теплопотери через светопрозрачные одинарные ограждения на 10 % больше, а через двойные на 30 % меньше, чем через стеклянные ограждения [10].

В настоящее время у нас в стране и за рубежом проявляют особый интерес к внедрению в производство тепличных хозяйств разработанных и рекомендуемых конструкций гелиотеплиц с использованием солнечной энергии для выращивания овощей и фруктов. Основными параметрами микроклимата гелиотеплиц является температура и влажность воздуха.

Процессы аккумуляции тепла происходят путем изменения физических параметров теплоаккумулирующего материала.

В последние годы наиболее распространены тепловые аккумуляторы с твердым теплоаккумулирующим материалом [11]. Это связано в первую очередь, с использованием недорогих материалов, простых и проверенных технических решений. В таблице 1 приведены основные свойства твердых теплоаккумулирующих материалов.

Таблица 1

Основные свойства твердых теплоаккумулирующих материалов(ТАМ)

ТАМ	Температура °С	Плотность, кгм ³	Удельная теплоёмкость, кДж/кг	Коэффициент теплопроводности, Вт·м*К	Коэффициент температуропроводности 10 ⁻⁶ м ² с
Щебень	400	2500-2800	0,92	2,2-3,5	0,85-1,5
Феолит	400	3900	0,92	2,1	2,5
Бетон	400	1900-2000	0,84	1,2-1,3	0,76
Шамот	1700	1830-2200	1,1-1,3	0,6-1,3	0,21-0,65
Графит	3500	1600-2000	2,0	40-170	12-54
Кирпич красный	1000	1700-1800	0,88	0,7-0,8	0,5
Песок	-	1460-1600	0,8-1,5	0,3-0,2	-

В таблице 2 приведены результаты анализа эколого-экономические показатели от использования солнечной энергии [12,13].

Жидкостные тепловые аккумуляторы относятся к числу наиболее простых и надежных устройств аккумуляции тепла, что связано с совмещением функций теплоаккумулирующего материала теплоносителя.

Отопление и вентиляция гелиотеплицы должны поддерживать заданные параметры: температуру; относительную влажность внутреннего воздуха; требуемую температуру почвы.

Тепловой режим в подпочвенном аккумуляторе тепла гелиотеплиц формируется главным образом под действием солнечной радиации и тепловым воздействием воздушной среды внутри гелиотеплицы [14]. Нахождение температурного поля в подпочвенном аккумуляторе тепла, где действует ряд факторов переноса тепла (конвекция, кондукция, и излучение), является задачей большой сложности [15]. При определении отношения площади нагревательных приборов к площади теплицы следует использовать график на рисунке 1, характеризующий систему отопления теплиц с подпочвенным обогревом.

В гелиотеплицах температура почвы поддерживается за счет конвективного теплопритока от внутреннего воздуха и аккумуляции в дневное время теплоты.

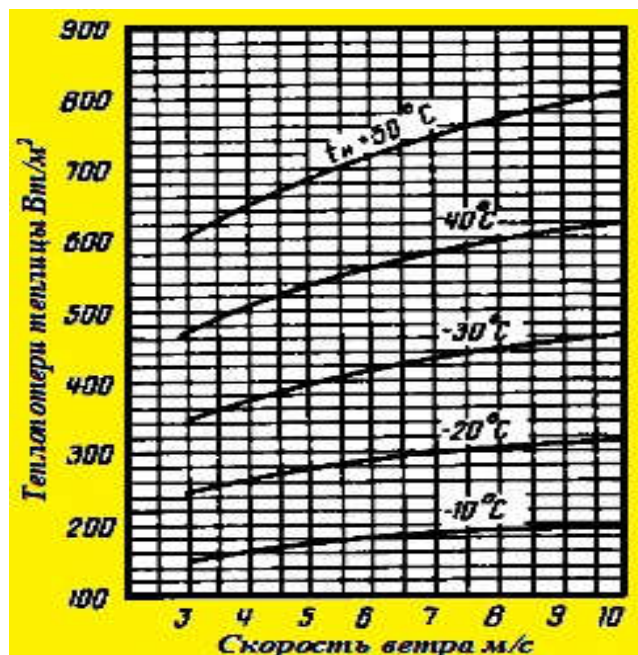


Рис. 1. Расчетные теплопотери теплицы.

Результаты исследования и их обсуждение. На сегодняшний день в связи с ростом агрономических требований к микроклимату повышается интерес к автоматическим системам управления для теплиц. Автоматизация тепличного производства обеспечивает сокращение доли тяжелого малоквалифицированного физического труда, что ведет к повышению его производительности и неуклонному экономическому росту. Автоматизация тепличного хозяйства позволяет выполнять отдельные операции технологического цикла без участия человека. Перспективным направлением автоматизации технологических процессов является использование принципиально новых автоматизированных систем автоматического управления, основанных на применении управляющих микроЭВМ. Создание и реализация эффективных систем автоматического управления и регулирования температурно-влажностного режима гелиотеплицы требует решения вопроса разработки математической модели процесса тепло- и массообмена происходящего в сооружении как объекта автоматического управления.

В технологическом отношении водяной аккумулятор тепла, являясь объектом управления, выполняет процесс нагрева или охлаждения воздуха в определенных пределах. Наиболее важным вопросом при разработке математической модели данного звена является установление (выбор) адекватного набора переменных, т.е. переменных, достаточно полно описывающих анализируемый процесс.

При составлении дифференциального уравнения сооружения (гелиотеплицы) в целом для каждой из них составляется уравнения теплообмена. При этом учитываются следующие факторы:

- поступление тепла за счет радиации;
- тепловыделение почвы;
- теплопотери через светопрозрачные ограждения;
- теплопотери с рециркулируемым воздухом;
- затраты тепла на испарение влаги с почвы и растительности.

Таблица 2

Эколого-экономические показатели от использования солнечно-энергетических установок

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 °С	Использование солнечной энергии для нагрева воды позволит сэкономить за год с 1м 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 1м 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.

На рис.2 представлена принципиальная расчетная схема водяного аккумулятора тепла, как объекта регулирования температуры воздуха на выходе из аккумулятора, задачей которой является стабилизация температур на заданном значении [16-20].

Балансовые уравнения тепла для объема воздуха гелиотеплицы записываются следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} C_B G_B \frac{dQ_0^B}{dt} = Q^{РАД} + Q_{II} + Q_P - Q_C - Q^{ИНФ} - Q_{III}^{СТ} - Q^{ВЕНТ} + Q_3^{РЦ}; \\ C_{II} G_{II} \frac{dQ_{II}}{dt} = Q_{II}^{РАД} - Q_{II}^{ОКР} - Q_{II}^{ИСП}; \\ C_P G_P \frac{dQ_P}{dt} = Q_P^{РАД} - Q_P^{ОКР} - Q_P^{ИСП}; \end{cases} \quad (1)$$

где $Q^{РАД}$ - суммарное количество поглощаемого воздухом гелиотеплицы при многократном отражении солнечной радиации; Q_{II}, Q_P - тепло, поступающее от почвы и растительного покрова к воздуху в гелиотеплице; Q_C - теплопотери через светопрозрачное ограждение; $Q^{ИНФ}$ - потери тепла на инфильтрацию; $Q_{III}^{СТ}$ - тепло, аккумулируемое стенами подсобного помещения и другими строительными конструкциями; $Q^{ВЕНТ}$ - тепло, затрачиваемое на нагрев вентиляционного воздуха; $Q_3^{РЦ}$ - тепло, отдаваемое рециркуляционным воздухом; $Q_{II}^{РАД}, Q_P^{РАД}$ - количество поглощенной солнечной радиации почвой и растениями соответственно; $Q_{II}^{ОКР}, Q_P^{ОКР}$ - тепло, отдаваемое почвой и растениями воздуху гелиотеплицы; $Q_{II}^{ИСП}, Q_P^{ИСП}$ - потери тепла на испарение влаги с поверхности почвы и растительного покрова; Q_0^B, Q_{II}, Q_P - температура внутреннего воздуха, почвы и растительного покрова соответственно; G_B - вес воздуха в объеме сооружения (гелиотеплицы); G_{II} - вес слоя почвы, способного аккумулировать тепло; G_P - вес растения, участвующего в аккумуляции тепла; t - время.



Рис.2. Принципиальная расчетная схема водяного аккумулятора тепла.

I - воздух на входе в аккумулятор; *II* - воздух на выходе из аккумулятора; *III* - водяной аккумулятор тепла; *IV* - тепло теряемое в процессе теплопередачи аккумулятором; *V* - тепло подводимое нагревателями

Тепловой баланс теплоаккумулирующего элемента включает:

- поступление тепла от внутреннего воздуха;
- потерю тепла в процессе теплопередачи и аккумуляцию тепла аккумулятором.

1. Уравнение процесса передачи теплоты от воздуха к жидкости т.е. при зарядке аккумулятора имеет вид:

$$V_T C_B \rho_B \frac{d\Delta\theta_{01}^B}{dt} = C_B L_B \Delta\theta_0^B - \alpha_{TP} F_T (\Delta\theta_0^B - \Delta\theta^{Ж}) - C_B L_B \Delta\theta_{01}^B; \quad (2)$$

2. Уравнение процесса передачи теплоты от жидкости к воздуху, т.е. при разрядке аккумулятора, имеет вид:

$$V_T C_B \rho_B \frac{d\Delta\theta_{01}^B}{dt} = -C_B L_B \Delta\theta_0^B + \alpha_{TP} F_T (\Delta\theta^{Ж} - \Delta\theta_0^B) - C_B L_B \Delta\theta_{01}^B; \quad (3)$$

Уравнение накопления теплоты массой элементов конструкций аккумулятора и жидкости при изменении температуры воздуха на входе запишется в виде:

$$(m_{ж}C_{ж} + m_{М}C_{М}) \frac{d\Delta\theta^{ж}}{dt} = K_T F_T (\Delta\theta_0^B - \Delta\theta^{ж}); \quad (4)$$

где V - объем труб аккумулятора; ρ_B - плотность воздуха; C_B - удельная теплоемкость воздуха; L_B - расход воздуха; $\Delta\theta^{ж}$ - приращение средней температуры воды; α_T - коэффициент теплоотдачи; F_T - площадь поверхности трубы, участвующей в теплообмене; K_T - коэффициент теплопередачи трубы; $m_{ж}$ - масса жидкости (воды) в аккумуляторе; $C_{ж}$ - удельная теплоемкость жидкости; $m_{М}$ - масса элементов конструкции аккумулятора; $C_{М}$ - удельная теплоемкость металла (стали);

Уравнения (2) и (3) можно объединить в одно, т.е.

$$V_T C_B \rho_B \frac{d\Delta\theta_{01}^B}{dt} = \pm [(C_B L_B \mp \alpha_T F_T) \Delta\theta_0^B + \alpha_T F_T \Delta\theta^{ж}]; \quad (5)$$

где верхние знаки относятся к процессу зарядки аккумулятора, а нижние к процессу разрядки аккумулятора.

Выполняя соответствующие преобразования уравнений (4) и (5) приводим их к стандартному виду:

$$T_1 \frac{d\Delta\theta_{01}^B}{dt} + \Delta\theta_0^B = \pm K_{31} (K'_{31}) \Delta\theta_0^B + K_{32} \Delta\theta^{ж}; \quad (6)$$

$$T_2 \frac{d\Delta\theta^{ж}}{dt} + \Delta\theta^{ж} = \Delta\theta_0^B; \quad (7)$$

где

$$T_1 = \frac{V_T C_B \rho_B}{C_B L_B} = \frac{V_T \rho_B}{L_B}; \quad K_{31} = 1 - \frac{\alpha_T F_T}{C_B L_B}; \quad K_{32} = \frac{\alpha_T F_T}{C_B L_B}; \quad K'_{31} = 1 + \frac{\alpha_T F_T}{C_B L_B};$$

$$T_2 = \frac{m_{ж} C_{ж} + m_{М} C_{М}}{K_T F_T};$$

В уравнение (6) знак «+» относится к коэффициенту K_{31} (процесс зарядки) и знак «-» к коэффициенту K'_{31} (процесс разрядки) и, соответственно, в период зарядки уравнение (6) решается перед переменным $\Delta\theta_0^B$ с коэффициентом K_{31} , в период разрядки с коэффициентом $-K'_{31}$.

Совместно решая уравнения (6) и (7) можно легко установить уравнения связей в динамике при изменениях входной величины θ_0^B , в изменении выходной величины θ_{01}^B , изменении температуры воздуха на входе - изменении температуры жидкости (воды) на выходе (7), и изменении температуры жидкости (воды) на входе - изменении температуры воздуха на выходе (7), и изменении температуры жидкости (воды) на входе - изменении температуры воздуха на выходе.

Выводы. Предложенный аналитический метод расчета температуры воздуха на выходе из водяного аккумулятора тепла позволяет получить динамические характеристики гелиотеплицы.

В сельском хозяйстве южных районов республики есть возможности внедрения гелиотехники (использование солнечной энергии), можно развивать и совершенствовать строительство в сельскохозяйственных построек - это даст:

- во-первых, - экономию топлива на обогрев помещений сельскохозяйственных сооружений;

- во-вторых, - себестоимость вырабатываемой продукции будет более низкой, чем естественного отопления;

- в-третьих, - строительство таких систем не дороже и проще, чем с отопительных систем и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амерханов Р. А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии / Р.А.Амерханов. М.: КолосС, 2003.532 с.
2. Марченко О. В. Системные исследования эффективности возобновляемых источников энергии /О. В. Марченко, С. В. Соломин // Теплоэнергетика. 2010. № 11. С. 12–17.
3. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии.-М.: Мир. 1977.-420с.
4. Севернев М.М. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве.- М: Колос, 1992,-190 с.
5. Твайдел Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. М.: Энергоиздат. 1990.-392 с.
6. Байрамов Р.Б., Рыбакова Л.Б. Микроклимат теплиц на солнечном обогреве. Ашхабад, 1983 г., 85 с.
7. Вардияшвили А.Б. Теплообмен и гидродинамика в комбинированных солнечных теплицах с субстратом и аккумулярованием тепла. Ташкент, Фан, 1990 г., 194 с.
8. Исаев С.М. К вопросу аналитического определения удельного влагосодержания воздуха гелиотеплицы. Сб.научно-теоретической конференции в честь 600-летия Мирзо Улугбека. Карши., 1994 г. Т.4., 28-32 с.
9. Хайриддинов Б.Э., Исаев С.М., Аширбаев М.У. Математическая модель блочной гелиотеплицы-сушилки с подпочвенным аккумулятором тепла. // Гелиотехника. 1990. №5. 80-83 с.
10. Курсовое проектирование по теплотехнике и применению теплоты в сельском хозяйстве: Учеб. пособие для вузов / Драганов Б.Х., Ковалев С.А., Лазоренко В.А. и др.; Под ред. Драганова Б.Х. - М.: Агропромиздат, 1991. - 176 с.)
11. Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумуляция тепла.- Киев : Тэхника, 1991. - 111 с.
12. Пенджиев А.М. Методы управления «Зеленой» экономикой// Научно-политический журнал Государственная служба №4, 2015 с.45-52.
13. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане. Монография. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012.)
14. Нерлин С.В., Чудновский А.Ф. Энерго- и массообмен в системе растение- почвы- воздух. – Л.: Гидрометеиздат, 1975 – с.352.
15. Uzakov G.N., Khamraev S.I., Khuzhakulov S.M. Rural house heat supply system based on solar energy // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1030 (2021) 012167 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1030/1/012167
16. Исаев С.М. Моделирование и управление температурно-влажностными режимами гелиотеплиц: Дисс..к.т.н. Т.: ТГТУ, 1997. с 126.
17. Х.А Алмарданов, И.А. Хатамов, З.Б. Тураев, Р.Э. Юсупов. Применение солнечных концентраторов для приема альтернативного топлива через устройство гелиопиролиза. Universum: технические науки, 2021, 8-12 ст.
18. Ш.Б. Имомов, Х.А. Алимардонов. Heat mode solar heating systems based on flat reflectors, sets on the north side of the building. Молодой ученый, 2015, 335-336 ст.
19. Davlonov X.A., Almardanov H.A., Toshboyev A.R., Umirov F.B. Method of Thermal Processing of Biomass With Heliopyrolysis Device. 2021, International Journal of Human Computing Studies, 3(2), 149-151.
20. Алмарданов Х. А., Новик А. В., Чулиев С. Э. Тепловой расчет гелиопиролизного устройства-концентратора. – 2022.