

DOI: 10.17516/1999-494X-0425

УДК 662. 997

## Study of the Thermal Control System in the Energy Efficient Greenhouse with Transformable Body

Bakhramzhan S. Rasakhodzhaev<sup>\*a,b</sup>, A. A. Kuchkarov<sup>b</sup>,  
M. O. Boboeva<sup>b</sup> and I. R. Mashrapova<sup>b</sup>

*<sup>a</sup>National Scientific and Technical Institute of Renewable Energy Sources  
under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan,*

*Tashkent, Republic of Uzbekistan.*

*<sup>b</sup>Ferghana Polytechnic Institute,  
Fergana, Republic of Uzbekistan*

Received 16.07.2022, received in revised form 12.08.2022, accepted 19.09.2022

**Abstract.** The paper considers the features of control (regulation) of thermal conditions in an energy-efficient greenhouse with a transformable housing for individual use. Based on the analysis of existing systems for heat and humidity treatment of air in a solar greenhouse and the creation of a humidity regime, we have developed an algorithm for controlling the thermal modes of operation of an energy-efficient greenhouse with a transformable housing with a multicomponent structure of a solar greenhouse for individual use. A thermal management system has been developed in an energy-efficient greenhouse with a transformable body in the form of a one-component control structure, which can be used in combination with a boiler powered by electricity or coal. The conducted studies show that for the rational and economical use of artificial heating resources in a solar greenhouse with a transformable (adjustable) body, it is recommended to use an intelligent system with automated control.

**Keywords:** control algorithm, thermal regimes, energy-efficient greenhouse, convertible housing, control system, individual user.

**Acknowledgements.** The authors express special gratitude to the researchers of the National Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan.

Citation: Rasakhodzhaev, B.S., Kuchkarov, A.A., Boboeva, M.O., Mashrapova, I.R. Study of the Thermal Control System in the Energy Efficient Greenhouse with Transformable Body. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2022, 15(6), 684–690. DOI: 10.17516/1999-494X-0425

## Исследование системы управления тепловыми режимами в энергоэффективной теплице с трансформируемым корпусом

Б. С. Расаходжаев<sup>а,б</sup>, А. А. Кучкаров<sup>б</sup>,  
М. О. Бобоева<sup>б</sup>, И. Р. Машрапова<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Национальный научно-технический институт  
возобновляемых источников энергии при  
Министерстве энергетики Республики Узбекистан,  
Республика Узбекистан, Ташкент

<sup>б</sup>Ферганский политехнический институт,  
Республика Узбекистан, Фергана

**Аннотация.** Рассмотрены особенности управления (регулирования) тепловыми режимами в энергоэффективной теплице с трансформируемым корпусом для индивидуального пользования. На основе анализа существующих систем тепло-влажностной обработки воздуха гелиотеплицы и создания оптимальной влажности нами разработан алгоритм управления тепловыми режимами работы энергоэффективной теплицы с трансформируемым корпусом с многокомпонентной структурой гелиотеплицы для индивидуального пользования. Показана система управления тепловыми режимами в энергоэффективной теплице с трансформируемым корпусом в виде однокомпонентной структуры, которая может быть использована при комбинации с электрическим или твердотопливным котлом. Проведенные исследования показывают, что для рационального и экономного пользования ресурсами искусственного обогрева в гелиотеплице с трансформируемым (регулируемым) корпусом рекомендуется применение интеллектуальной системы с автоматизированным управлением.

**Ключевые слова:** алгоритм управления, тепловые режимы, энергоэффективная теплица, трансформируемый корпус, система управления, индивидуальный пользователь.

**Благодарности.** Авторы выражают особую благодарность научным сотрудникам Национального научно-исследовательского института возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан.

Цитирование: Расаходжаев, Б.С. Исследование системы управления тепловыми режимами в энергоэффективной теплице с трансформируемым корпусом / Б.С. Расаходжаев, А.А. Кучкаров, М.О. Бобоева, И.Р. Машрапова // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2022, 15(6). С. 684–690. DOI: 10.17516/1999-494X-0425

### Введение

Создание влажностного режима в плодоовощехранилищах на основе водяного аккумулятора солнечной энергии рассмотрено Г.Н. Узаковым, М.И. Рахматовым, Л.А. Алияровой [1]. Использование солнечной энергии в системах тепло-влажностной обработки воздуха гелиотеплицы представлено Г.Н. Узаковым с соавторами [2]. Выбор системы отопления исходя из климатических условий Узбекистана и расчетов технико-экономических показателей альтернативных систем на примере солнечной теплицы с трансформируемым корпусом показано Б.С. Расаходжаевым с соавторами [3]. Моделирование тепловых режимов и оценка энергоэффективности солнечных теплиц с трансформируемым (регулируемым) корпусом рассмотрено в работах [4, 6]. Определение теплоемкости и выбор материалов для краткосрочного аккумуля-

лирования дневного излишка тепла солнечного излучения в инсоляционных пассивных системах отопления проанализированы Р. Р. Авезовым с соавторами [5]. Основные резервы повышения эффективности использования солнечной энергии в системах теплоснабжения приведены Ю. К. Рашидовым с соавторами [6].

### Материалы и методы

На основе анализа существующих систем моделирования тепловых режимов нами разработан алгоритм управления работой энергоэффективной теплицы с трансформируемым корпусом для индивидуального пользования.

В предлагаемый алгоритм положены два основных принципа: максимально полезное использование тепловой энергии, поступающей от солнечной энергии, и минимизация числа часов работы искусственного обогревателя. В качестве последнего альтернативными системами, наиболее приемлемыми при обогреве гелиотеплиц, являются природный газ, уголь и электроэнергия.

Для рационального и экономного пользования ресурсами искусственного обогрева в теплице может быть использована интеллектуальная система управления (СУ), которая обеспечивает постоянное распределение потоков энергии в замкнутой энергетической системе в зависимости от ее текущего состояния.

Режим работы теплицы определяется разницей температуры внутри теплицы.

При отоплении теплиц традиционно используемыми видами топлива служат уголь, природный газ и электрическая энергия, при этом необходимо обратить внимание на теплотворную способность (удельную теплоту сгорания) топлива. Теплотворная способность характеризует количество теплоты, выделяемое при полном сгорании топлива массой 1 кг или объёмом 1 м<sup>3</sup> (1 л). Удельная теплота сгорания каждого вида топлива зависит от его горючих составляющих (углерода, водорода, летучей горючей серы и др.), а также от влажности и зольности [7].

В табл. 1 приведены теплотворности видов топлива, часто используемых при отоплении теплиц, единицы их измерения и удельная теплота сгорания [9].

Очевидно, что чем выше удельная теплота сгорания топлива, тем меньше его расход. Поэтому при проектировании котельной на твёрдом топливе необходимо учитывать тепло-

Таблица 1. Виды топлива и их удельная теплота сгорания

Table 1. Types of fuel and their specific combustion

№	Вид топлива	Ед. изм.	Удельная теплота сгорания		
			кКал	кВт	МДж
1.	Природный газ	1 м <sup>3</sup>	8000	9,3	33,50
2.	Уголь каменный (W=10 %)	1 кг	6450	7,5	27,00
	Уголь бурый (W=30...40 %)	1 кг	3100	3,6	12,98
3.	Электроэнергия	1 кВт/ч	864	1,0	3,62

творную способность. С учетом теплотворности топлива мы можем регулировать объем теплицы.

Для эффективной реализации алгоритма управления тепловыми режимами в энергоэффективной теплице с трансформируемым корпусом на практике необходим постоянный контроль за запасом тепловой энергии в аккумуляторе тепла, в качестве которого использована пластиковая емкость с теплоизоляционной поверхностью. Также аккумулятор тепла (для накопления и хранения тепловой энергии) имеет многослойное покрытие.

При обогреве теплицы возможны два варианта: система солнечного обогрева (ССО) и система искусственного обогрева (СИО).

1. Система солнечного обогрева обеспечивает поступление солнечной энергии больше потребляемой активной мощности нагрузки. В этом случае тепловой режим теплицы полностью обеспечивается солнечной энергией. Согласно тепловой схеме [7] поступающая энергия поглощается растениями, аккумулятором тепла и частично поверхностью грунта.

2. Система искусственного обогрева используется при пасмурной погоде, когда поступающая солнечная энергия меньше активной мощности. В этом случае (в зависимости от вида природного ресурса) включается альтернативная система искусственного обогрева. В таком режиме интеллектуальная система управления определяет недостаток мощности, необходимой для обогрева теплицы, и производит оценку возможности ее получения из альтернативной системы искусственного обогрева.

## Результаты

Особенностью разработанного алгоритма управления тепловыми режимами в энергоэффективной гелиотеплице с трансформируемым корпусом при комбинации с системой искусственного обогрева является рациональное и экономное пользование природными ресурсами.

На рис. 1 представлен алгоритм управления тепловыми режимами в энергоэффективной теплице с трансформируемым корпусом.

На рис. 1 представлена многокомпонентная структура гелиотеплицы с трансформируемым корпусом, которая требует разработки специализированных алгоритмов управления, обеспечивающих бесперебойное снабжение потребителя тепловой энергией в условиях изменяющихся внешних факторов, оказывающих существенное влияние на работу гелиотеплицы.

Для эффективной работы гелиотеплиц с трансформируемым корпусом необходимо создание методик рационального выбора типа и мощности альтернативных систем искусственного обогрева в составе автономных энергетических комплексов. На основе разработанного алгоритма управления тепловыми режимами в энергоэффективной гелиотеплице с трансформируемым корпусом и многокомпонентной структурой нами создана методика рационального выбора типа и мощности альтернативных систем искусственного обогрева с однокомпонентной структурой управления тепловым режимом гелиотеплицы с трансформируемым корпусом для индивидуального пользования.

На рис. 2 представлен схема управления тепловыми режимами в энергоэффективной теплице с трансформируемым корпусом с однокомпонентной структурой управления при комбинации с газовым котлом для индивидуального пользования.

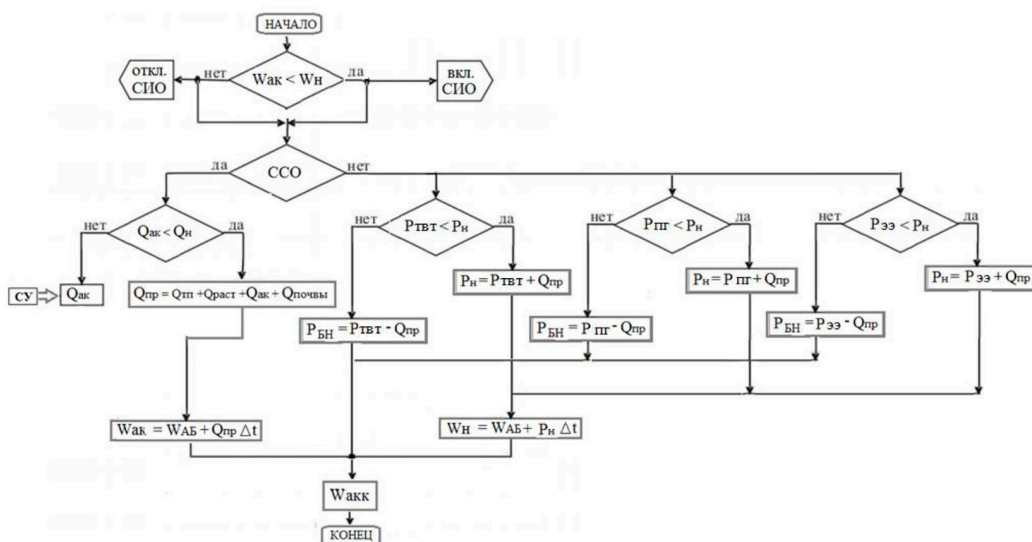


Рис. 1. Алгоритм управления тепловыми режимами в энергоэффективной гелиотеплице с трансформируемым корпусом для индивидуального пользования:  $W_{ак}$  – аккумулируемая энергия в теплице;  $W_{н}$  – нагрузочная энергия;  $Q_{ак}$  – аккумулируемая энергия в аккумуляторе;  $Q_{н}$  – нагрузочная энергия;  $P_{н}$  – нагрузочная мощность;  $P_{БН}$  – без нагрузки;  $P_{ПГ}$  – мощность котла от природного газа;  $Q_{пр}$  – суммарная солнечная радиация, прошедшая в гелиотеплицу;  $P_{ПГ}$  – мощность котла от электроэнергии;  $W_{АБ}$  – энергия аккумуляторных батарей;  $\Delta t$  – разница времени;  $W_{АКК}$  – энергия аккумуляторных батарей в теплице

Fig. 1. Algorithm for controlling thermal regimes in an energy-efficient solar greenhouse with a transformable housing for individual use

На рис. 1. представлен алгоритм управления тепловыми режимами в энергоэффективной теплице с трансформируемым корпусом.

Данная однокомпонентная структура управления может быть также использована для управления тепловыми режимами в энергоэффективной теплице с трансформируемым корпусом при комбинации с электрическим или твердотопливным котлом. Особенностью представленной комбинации является экономное и рациональное использование полезных ископаемых.

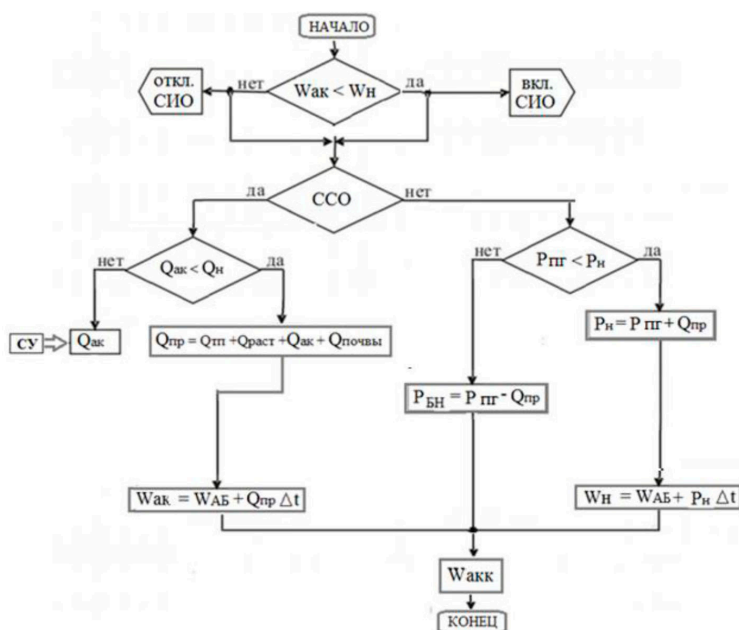


Рис. 2. Алгоритм управления тепловыми режимами в энергоэффективной теплице с трансформируемым корпусом при комбинации с газовым котлом:  $W_{ак}$  – аккумулируемая энергия в теплице;  $W_{н}$  – нагрузочная энергия;  $Q_{ак}$  – аккумулируемая энергия в аккумуляторе;  $Q_{н}$  – нагрузочная энергия;  $P_{н}$  – нагрузочная мощность;  $P_{пг}$  – мощность котла от природного газа;  $Q_{пр}$  – суммарная солнечная радиация, прошедшая в гелиотеплицу;  $W_{АБ}$  – энергия аккумуляторных батарей;  $\Delta t$  – разница времени;  $W_{АКК}$  – энергия аккумуляторных батарей в теплице

Fig. 2. Algorithm for controlling thermal conditions in an energy-efficient greenhouse with a transformable body when combined with a gas boiler

На рис. 2 представлена схема управления тепловыми режимами в энергоэффективной теплице с трансформируемым корпусом с однокомпонентной структурой управления при комбинации с газовым котлом для индивидуального пользования.

### Выводы

По итогам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- на основе анализа существующих систем тепло-влажностной обработки воздуха гелиотеплицы и создания влажностного режима нами разработан алгоритм управления тепловыми режимами работы энергоэффективной теплицы с трансформируемым корпусом с многокомпонентной структурой гелиотеплицы для индивидуального пользования;
- с учетом данного алгоритма управления тепловыми режимами в энергоэффективной гелиотеплице с трансформируемым корпусом с многокомпонентной структурой гелиотеплицы нами подготовлена методика рационального выбора типа и мощности альтернативных систем искусственного обогрева с однокомпонентной структурой управления тепловым режимом гелиотеплицы с трансформируемым корпусом для индивидуального пользования;
- для рационального и экономного пользования ресурсами искусственного обогрева в гелиотеплице рекомендуется использование интеллектуальной системы автоматизированного управления.

### Список литературы / References

- [1] Узаков Г.Н., Рахматов М.И., Алиярова Л.А. Создание влажностного режима в плод-овощехранилищах на основе водяного аккумулятора солнечной энергии, *Техника. Технологии. Инженерия*, 2017, 2(4), 58–61. Режим доступа: <http://moluch.ru/archive/94/pdf/#8>, <http://elibrary.ru/item.asp?id=29009786>
- [2] Uzakov G. N., Aliyarova L. A., Davlonov Kh. A., Toshmamatov B. M., Khusenov A. A. The use of Solar Energy in Systems of Heat-Moisture Treatment of Air of Heliogreenhouse. International Journal of Mechanical and Production, *Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 2020, 10(3), 3813–3820. ISSN (P): 2249–6890; ISSN(E): 2249–8001.
- [3] Расаходжаев Б.С., Махмудов С.М., Ахмаджонов У.З. Моделирование тепловых процессов в энергоэффективных гелиотеплицах с трансформируемым корпусом. *Inter Conf.* (2021). Режим доступа: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/9903>.
- [4] Rasakhodzhaev B., Makhmudov S., Muminov F. Selection of a heating system based on climatic conditions of Uzbekistan and on calculations of the technical and economic indicators of alternative systems: A case study of the solar greenhouse with a transformable building. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* this link is disabled, 2021, 939(1), 012003.
- [5] Авезов Р.Р., Абдухамидова Д. У., Имомов Ш. Б. и др. Определение теплоемкости и выбор материалов для краткосрочного аккумулирования дневного излишка тепла солнечного излучения в инсоляционных пассивных системах отопления. *Гелиотехника № 4, Ташкент*, 2016, 58–62.
- [6] Рашидов Ю.К., Рашидов К.Ю., Мухин И.И., и др. Основные резервы повышения эффективности использования солнечной энергии в системах теплоснабжения. *Гелиотехника № 1, Ташкент*, 2019, 18–36.
- [7] [info@a-invest.com.ua](mailto:info@a-invest.com.ua).
- [8] Клычев Ш. И., Расаходжаев Б. С., Ахадов Ж. З., Ахмаджонов У. З, Адылов Ч. А. Исследование теплового режима гелиотеплиц для индивидуального назначения при их конструктивных особенностях, *Гелиотехника № 1, Ташкент*, 2022. 52–59.
- [9] Rasakhodzhaev B.S., Adylov Ch.A., Tokonova T.S., Rayymbaev Zh. Ch. Evaluation of the energy efficiency of solar greenhouses with a transformable (adjustable) body. *The science. Education. Technics*, 2020, 3(69), 36–45.
- [10] Ratsert W. Kh. *Evaporation into the atmosphere, Theory, history, applications*. L., Gidrometeoizdat, 1985. 351 p.
- [11] Авезов Р.Р., Орлов А.Ю. *Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения*. Ташкент, Фан, 1988. 288 с.
- [12] Ismanzhanov A. I. *Renewable and non-traditional energy: Explanatory dictionary of terms*. Osh., Kyrgyz-Uzb. university, 2009, 158 p.
- [13] Исманжанов А.И., Клычев Ш.И., Расаходжаев Б.С. *Солнечные установки для индивидуального пользования в сельской местности и в горных регионах*. Российская Федерация. Изд. НОО «Профессиональная наука». 2020. 131 с.