Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 621. 365: 636.083.1

Анализ теплоэнергетических параметров тепличных комплексов

Савчук И.В.[1], Халина Т.М.[2], Филимонов К.И.[3]

[1]Государственный аграрный университет Северного Зауралья

[2]Алтайский государственный технический университет им. И.И Ползунова

[3]Тюменское высшее военное инженерное командное училище им. маршала А.И. Прошлякова

Аннотация

Выполнен анализ существующих систем обогрева тепличных комплексов, выявлены их достоинства и недостатки. Поставлены задачи на использование конструкций на основе энергоэффективного поверхностно-распределённого способа обогрева (подогрева) с использованием пластинчатых и объёмных многоэлектродных композиционных электрообогревателей. Проведён комплекс определения теплового баланса в тепличном комплексе, выявлены притоки и оттоки теплоты. Представлена возможность использования теплового притока теплоты от пластинчатого многоэлектродного композиционного электрообогревателя, позволяющая нормализировать микроклимат в теплице в холодные периоды года.

Ключевые слова: ТЕМПЕРАТУРА, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ОТОПЛЕНИЕ, ТЕПЛИЦА, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС, ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС, ТЕПЛООБМЕН, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Для наиболее продуктивного роста растений в тепличных комплексах необходимо поддерживать основные параметры, такие как температурный режим воздуха и почвы, влажность воздуха и почвы, газовый состав воздушной среды, световой режим [1].

При анализе теплового режима в теплице необходимо учитывать вентиляцию. При выборе способа обогрева теплиц необходимо учитывать допустимость топливных

ресурсов, полезные мощности элементов отопительных систем и, конечно, объём отапливаемой теплицы [2].

Наиболее распространённым способом отопления теплицы на сегодняшний день является газовое отопление с использованием газовых котлов или газовых конвекторов, имеющих максимальное КПД. Также не является исключением использование твёрдотопливных котельных установок, где в качестве топлива используются древесина, уголь, пеллеты и другие виды топлива [3, 4].

Отопление теплиц при помощи электричества также даёт возможность использования тепличных комплексов без использования других упомянутых ранее энергоносителей. Исключением может быть система электрического отопления по многотарифному учёту потребления электроэнергии с использованием аккумуляторов тепла только тогда, когда стоимость электроэнергии снижается не менее, чем в 2 раза. Обогрев теплицы электроэнергией, а точнее сказать преобразование электроэнергии в тепловую энергию, возможен при использовании различного рода электрических обогревателей: тепловых электрических пушек, электрокотлов с ТЭНами, электрокалориферов, ИК - излучателей, а также систем «Тёплый пол» [5].

ИК-отопление для обогрева теплицы равномерно прогревает как почву, стены и потолок, так и растения. Безусловным плюсом является то, что все параметры (температуру, время нагрева, отключение и так далее) можно программировать с помощью «умного дома». Стоимость инфракрасного отопления несколько выше стоимости других видов, но существенно меньше стоимости дорогостоящих тепловых насосов или воздушных систем. Недостаток заключается в том, что из воздуха выгорает кислород и нужно устанавливать дополнительную вентиляцию [6].

Кабельный

В почву и на внешние стены парника укладывается электрокабель определённой мощности. Это способ считается не очень дорогим и довольно эффективным. С успехом применяется как экономичное отопительное оборудование для теплиц из поликарбоната или стекла. Однако перед монтажом кабелей нужно правильно рассчитать температурный режим, иначе корневая система растений может быть перегрета, что нанесёт вред растениям [7].

В качестве обогрева можно использовать многоэлектродные композиционные электрообогреватели.

Постановка задачи

В связи с необходимостью совершенствования функционирования систем обогрева (подогрева) ограждающих конструкций, стен, покрытий и почвы в тепличных комплексах определены следующие задачи исследований:

- обосновать использование конструкций на основе энергоэффективного поверхностно-распределённого способа обогрева (подогрева) с использованием пластинчатых и объёмных многоэлектродных композиционных электрообогревателей (МКЭ);

- определить тепловой баланс в тепличном комплексе с использованием многоэлектродных композиционных электрообогревателей.

Результаты и обсуждения

Тепловой баланс тепличного комплекса

Потоки теплоты, способствующие нагреву теплицы, являются положительными, а потоки, которые вызывают снижение теплоты, являются отрицательными; потоки, меняющие направления в зависимости от температуры, являются знакопеременными [8] (см. рис. 1).

Баланс Q_T притоков теплоты теплицы равен:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 - Q_3 + Q_4 + Q_5, \qquad (1)$$

где: Q_1 – приток теплоты через ограждающие конструкции, стены и покрытия, кВт; Q_2– приток теплоты от поливной воды и других материалов, приходящих в теплицу извне или входящих в неё, кВт; Q_3 – отток теплоты от вентиляции и инфильтрации, кВт; Q_4 – приток теплоты от эксплуатации оборудования, кВт; Q_5 – приток теплоты от жизнедеятельности растений, кВт.

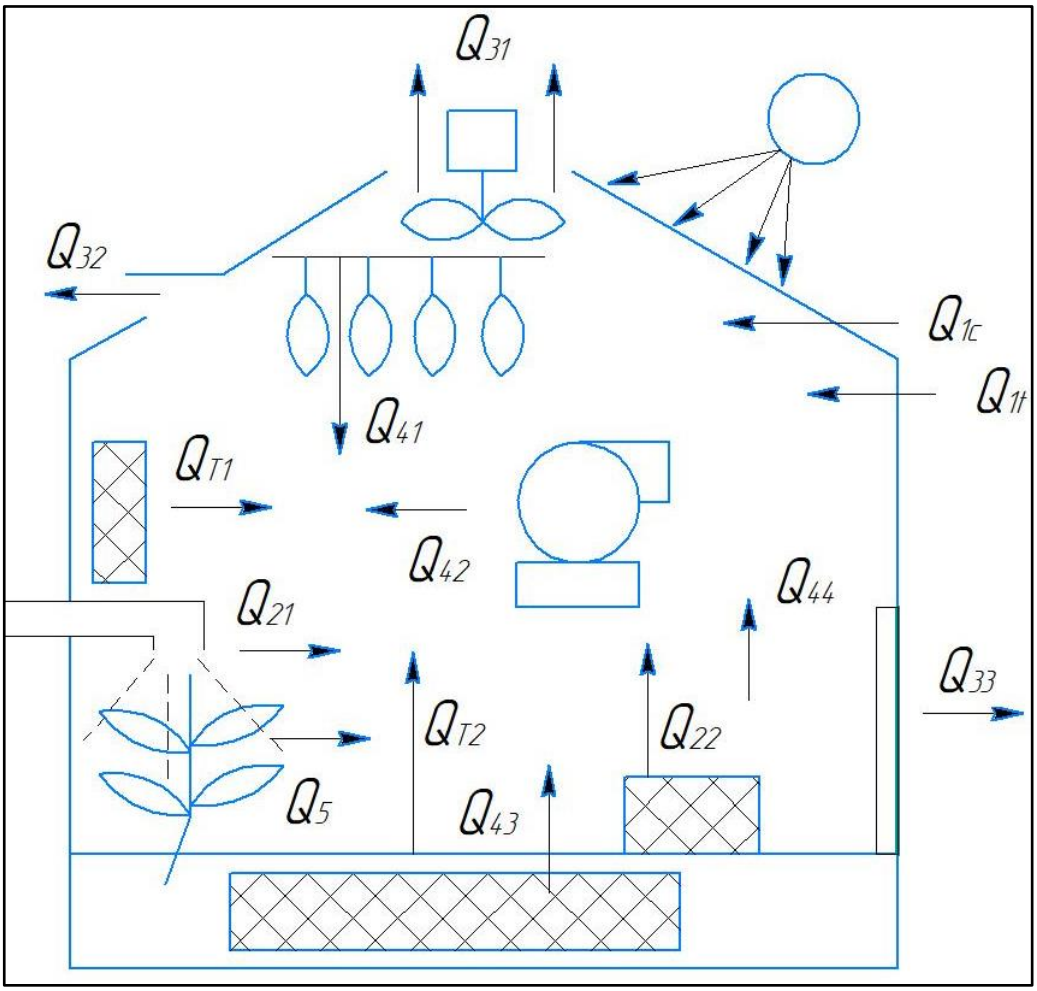

Рис. 1. Тепловой баланс теплицы

Разложим баланс притоков и оттоков на составляющие:

1. Поступление теплоты и оттоки через ограждающие конструкции, стены и покрытия определяются суммой притоков (оттоков) теплоты через стены, покрытия и от солнечной радиации [9] по уравнению:

$$Q_1 = Q_{1c} - Q_{1t}, \quad (2)$$

где: Q_{1t} – тепловой приток (отток) через стены и покрытия, кВт; Q_{1c} – тепловой приток от солнечной радиации, кВт.

$$Q_{1t} = 10^{-3} \cdot k_д \cdot F \cdot (t_H - t_B), \quad (3)$$

где: $k_д$ - действительный коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м^2·К); F - площадь ограждения, м^2; tн, tв - наружная и внутренняя расчётные температуры воздуха, °С.

$$Q_{1c} = 10^{-3} \cdot k_д \cdot Fdt, \quad (4)$$

где: F — площадь ограждения, облучаемая солнцем, м^2; dt — избыточная разность температур, характеризующая действие солнечной радиации в летнее время, °С.

2. Поступление теплоты от поливной воды и других материалов, приходящих в теплицу извне или входящих в неё:

$$Q_2 = Q_{21} + Q_{22}, \quad (5)$$

где: Q_{21} — тепловой приток от поливной воды, кВт; Q_{22} — тепловой притоки от тары, продукции и др., кВт.

3. Потери теплоты от вентиляции и инфильтрации:

$$Q_3 = Q_{31} + Q_{32} + Q_{33}, \quad (6)$$

где: Q_{31} - отток теплоты от приточно-вытяжной вентиляции, кВт; Q_{32} – отток теплоты от инфильтрации — открывания дверей, неплотностей в ограждениях и т. п., кВт; Q_{33} –отток теплоты от регулирования воздухообмена управляемыми фрамугами, жалюзями и крышками, кВт.

Оттоки теплоты Q_{31} от наружного воздуха при вентиляции (кВт):

$$Q_{31} = M_v(i(t_H) - i(t_K)), \quad (7)$$

где: Mυ - массовый расход вентиляционного воздуха, кг/с; i(tн) - удельная энтальпия наружного воздуха, кДж/кг; i(tк) - удельная энтальпия воздуха в камере, кДж/кг.

Массовый расход вентиляционного воздуха Mυ определяется, исходя из обеспечения кратности вентиляции в сутки:

$$M_v = \alpha \cdot \rho \cdot V_k/24 \cdot 3600, \quad (8)$$

где: V_k - объём вентилируемого помещения, м^3; а = 3–4 - кратность воздухообмена в хранилище, задаваемая режимом хранения; ρ - плотность воздуха, зависящая от температуры и относительной влажности в камере, кг/м^3 [8].

Оттоки теплоты при открывании дверей и инфильтрации принимают за 20% от потерь через ограждения (кВт):

$$Q_{32} = 0{,}2 \cdot Q_{1t}, \quad (9)$$

Потери тепла через фрамуги зависят от площади фрамуг, скорости движения воздуха в вентиляционных проёмах и разности его температур внутри и снаружи теплицы (кВт):

$$Q_{33} = p \cdot S \cdot v \cdot c_B \cdot \gamma_B \cdot (t_H - t_B), \quad (10)$$

где: р - коэффициент расхода через систему вентиляции, равный 0,65; S - площадь приточных или вытяжных отверстий, м$_2$; υ - скорость движения воздуха в вентиляционных проёмах, м/с; $\gamma_в$ - плотность воздуха, кг/м3; $c_в$ - теплоёмкость воздуха, кДж/кг; $t_в$, $t_н$ - температуры внутри и снаружи теплицы.

4. Приток теплоты от эксплуатации оборудования:

$$Q_4 = Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} + Q_{44}, \quad (11)$$

где: Q_{41} – тепловой приток от эксплуатации оборудования освещения теплицы, кВт; Q_{42} – тепловой приток от эксплуатации оборудования полива и управления (насосов, смесителей и т.п.), кВт; Q_{43} – тепловой приток от почвы, кВт; Q_{44} – тепловой приток от пребывания людей, кВт [8].

Тепловые притоки от освещения:

$$Q_{41} = (1 - \eta)P \cdot F_p \cdot 10^{-3}, \quad (12)$$

где: P - удельная мощность источников освещения (на 1 м^2 площади теплицы), Вт/м^2; η - КПД источников освещения; Fp - площадь теплицы, м^2.

Тепловой приток от эксплуатации электрооборудования.

$$Q_{42} = N_э, \quad (13)$$

где: Nэ — суммарная мощность электрооборудования, кВт.

Тепловой приток от почвы:

$$Q_{43} = Q_{пи} + Q_{пк}, \quad (14)$$

где: $Q_{пи}$ – теплообмен путём испарения влаги из почвы; $Q_{пк}$ – теплообмен почвы конвективный;

Тепловые притоки от пребывания людей (кВт):

$$Q_{44} = 0{,}32 \cdot n, \quad (15)$$

где: 0,32 — тепловыделение одного человека при тяжелой физической работе, кВт/чел; n — число людей, работающих в теплице.

5. Тепловые притоки от жизнедеятельности растений, кВт:

$$Q_5 = Q_{ри} + Q_{рк}, \quad (16)$$

где: $Q_{ри}$ – теплообмен путём испарения воды листьями растений; $Q_{рк}$ – теплообмен конвективный растений;

Теплообмен с растениями и почвой также влияет на температуру окружающей среды в теплице, как отопление, вентиляция и воздействие солнечной радиации. Таким

образом, теплообмен между почвой и воздухом, между растением и воздухом можно выразить общим уравнением [8]:

$$Q_{\text{РП}} = Q_{43} + Q_5 = ((Q_{\text{пи}} + Q_{\text{пк}}) + (Q_{\text{ри}} + Q_{\text{рк}})), \quad (17)$$

Отсюда конвективный теплообмен для почвы и растений равен:

$$Q_{\text{Р(П)к}} = \alpha \cdot S \cdot (t - t_B) \cdot 1000, \quad (18)$$

где: α - коэффициент теплоотдачи поверхности растений или почвы, α = 5 Вт/(м^2 ·°С); S - поверхность растений или почвы, м^2; t - температура растений или почвы, °С; $t_в$ - температура воздуха в теплице, °С.

Теплообмен путем испарения:

$$Q_{\text{Р(П)к}} = rmS, \quad (19)$$

где: r - теплота парообразования, r = 22575 кДж/кг; m - скорость транспирации, г/(м^2·с); S - площадь растений или почвы, м^2.

На основании приведённого баланса теплоты выяснилось, что потери тепла в тепличном комплексе осуществляются через

- приточно-вытяжную вентиляцию;
- инфильтрацию — открывание дверей, неплотностей в ограждениях и т. п.;
-регулирование воздухообмена управляемыми фрамугами, жалюзями и крышками;
- стены и покрытия;

Соответственно, для поддержания теплоты в почве и теплице появляется возможность применения еще одного параметра Q_6 – теплового притока от пластинчатого многоэлектродного композиционного электрообогревателя:

$$Q_6 = P_{\text{МКЭ}} \cdot n_{\text{МКЭ}} \quad (20)$$

$P_{\text{МКЭ}}$ – мощность пластинчатого многоэлектродного композиционного электрообогревателя; $n_{\text{мкэ}}$ – количество пластинчатых многоэлектродных композиционных электрообогревателей.

Подставив в баланс притоков теплоты теплицы уравнения 1, получим:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 - Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (21)$$

Использование теплового притока от пластинчатого многоэлектродного композиционного электрообогревателя позволит нормализировать микроклимат в теплице в холодные периоды года.

Многоэлектродные композиционные электрообогреватели (МКЭ) пластинчатой формы неразборной конструкции на основе бутилкаучука относятся к резистивным нагревательным элементам с применением электропроводящих углеродсодержащих композиционных материалов. Они предназначены для локального поверхностно-распределённого обогрева и поддержания диапазона заданных температур при эксплуатации устройств, установок и предметов промышленного и сельскохозяйственного назначения. МКЭ работает от однофазной сети переменного тока напряжением 220В, частотой 50 Гц [10, 11].

Предлагается система обогрева на базе многоэлектродных композиционных электрообогревателей, рис. 2. Электроизоляционный слой 3 представляет собой композицию на основе бутилкаучука с выраженными электроизоляционными свойствами и улучшенными физико-механическими показателями; электропроводный слой 4 изготовлен на основе бутилкаучука с техническим углеродом марок N-330, N-220. Электроды 2 и токопроводы 1 выполнены из медного гибкого провода сечением 1,5 мм^2 [10, 11].

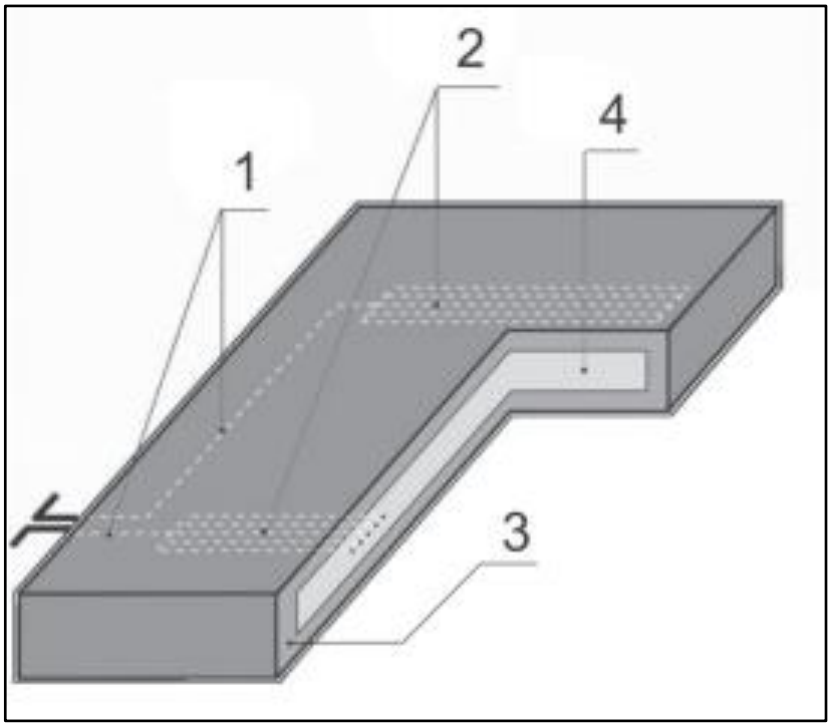

Рис. 2. Схематическое изображение пластинчатого МКЭ

Примечание: 1 - Токопроводы; 2 – Электроды; 3 – Электроизоляционный слой; 4 - Электропроводный слой.

Преимущества МКЭ перед кабельными системами обогрева:

- высокая прочность электрической изоляции;
- небольшие токи утечки;
- достаточная теплоотдача;
- стойкость к воздействию влаги, солнечной радиации;
- работа в широком диапазоне температур;
- низкое энергопотребление.

Выводы

1. Определён баланс притоков и оттоков теплоты теплицы, состоящий из:

– притоков (оттоков) теплоты через ограждающие конструкции, стены и покрытия;

– притоков теплоты от поливной воды и других материалов, приходящих в теплицу извне или входящих в неё, кВт;

– оттоков теплоты от вентиляции и инфильтрации;

– притоков теплоты от эксплуатации оборудования;

– притоков теплоты от жизнедеятельности растений;

– притоков теплоты от пластинчатого многоэлектродного композиционного электрообогревателя.

2. Многоэлектродные пластинчатые композиционные электрообогреватели обеспечивают:

– равномерное распределение и соответствующие параметры температурного поля на поверхности;

–выполнение условий пожаро- и электробезопасности, надёжности, влаго- и химической стойкости в агрессивной среде, экологической чистоты;

– высокие диэлектрические показатели, теплоаккумулирующие свойства, значительную наработку на отказ;

– самостабилизацию температуры, саморегулирование и надёжность системы управления мощностью электрообогрева.

Список использованных источников:

1. Алексеев В.С. Теплицы будущего, их актуальность на данный момент // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Саратов, 21–22 апреля 2021 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2021. – С. 341-344.

2. Журина Е.Е., Попов И.Н. Особенности теплоснабжения теплиц и оранжерей // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы XII Национальной конференции с международным участием, Саратов, 21–22 апреля 2022 года. – Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2022. – С. 36-40.

3. Белов В.В., Белов Е.Л. Тепличное устройство с обогревательными элементами // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3(10). – С. 85-89.

4. Расаходжаев Б.С., Адылов Ч.А., Токонова Т.С., Райымбаев Ж.Ч. Оценка энергоэффективности гелиотеплиц с трансформируемым корпусом // Наука. Образование. Техника. – 2020. – № 3(69). – С. 36-44.

5. Шведкой Д.А., Барабанов В.Г. Автоматизация тепличных помещений // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2019. – № 8(231). – С. 53-56.

6. Данилов Р.В., Вольнова Н.Ю., Дудакова Ж.М. "Умная теплица" как одно из ключевых направлений применения совокупности программно-аппаратных решений и роботизированных интеллектуальных технологий выращивания сельскохозяйственных растений в закрытых системах // Молодежный вектор развития аграрной науки: МАТЕРИАЛЫ 72-Й НАЦИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ, Воронеж, 01 апреля – 31 2021 года / Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I. Том Часть II. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. – С. 296-299.

7. Опарина Л.А., Пухов Е.П. Проблемы развития энергоэффективных тепличных комплексов в России // Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений: Сборник научных трудов. Том Выпуск 10. – Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2020. – С. 66-71.

8. Узаков Г.Н., Алиярова Л.А., Тошмаматов Б.М. Теплотехнический расчет систем тепловлажностной обработки воздуха в гелиотеплицах с водовоздушным солнечным коллектором // Universum: технические науки. – 2021. – № 3-4(84). – С. 25-31; DOI: 10.32743/UniTech.2021.84.3-4.25-31.

9. Юдин В.В., Савчук И.В. Использования солнечной энергетики для сельскохозяйственного сектора // В сборнике: Интеграция науки и образования в аграрных

вузах для обеспечения продовольственной безопасности России. сборник трудов национальной научно-практической конференции. - Тюмень, 2022. - С. 194-198.

10. Халина Т.М., Ведманкин А.В. Метод повышения стабильности электрофизических характеристик композиционных электрообогреваиелей сельскохозяйственного назначения // Энерго- и ресурсосбережение - XXI век: Материалы XIX международной научно-практической конференции, Орёл, 10–12 ноября 2021 года / Под редакцией А.Н. Качанова, Ю.С. Степанова. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2021. – С. 71-76.

11. Халин М.В., Востриков Е.И. Энергоэффективные композиционные электрообогреватели антиобледенительных систем. // Известия Томского политехнического университета. - 2012. - Т. 320. - № 4 – С. 52-57.

==========

Цитирование:

Савчук И.В., Халина Т.М., Филимонов К.И. Анализ теплоэнергетических параметров тепличных комплексов [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/2/st_242.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202132242.