Научная статья
Original article
УДК 62-52

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В БОРТОВЫХ ОРАНЖЕРЕЯХ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

METHODS OF REGULATING CLIMATIC PARAMETERS IN ONBOARD GREENHOUSES IN SPACE FLIGHT CONDITIONS

Золотухина Дарья Андреевна, магистрант кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н. Э. Баумана, РФ, Москва**,** *da-zolotukhina@yandex.ru*

Zolotukhina Darya Andreevna, master's Student of the Department of "Robotic Systems and Mechatronics", Bauman Moscow State Technical University, Russia, Moscow, *da-zolotukhina@yandex.ru*

Аннотация. Данная статья посвящена обзору и анализу систем регулирования климатических параметров в оранжереях в условиях космического полета. Целью работы является обобщение данных о соответствующих способах регулирования и определения альтернативного способа поддержания микроклимата внутри вегетационной камеры.

Abstract. This article is devoted to the review and analysis of the control systems of climatic parameters in greenhouses in the conditions of KP. The aim of the work is to generalize data on the appropriate methods of regulation and determination of an alternative way to maintain the microclimate inside the growing chamber.

Ключевые слова: Бортовая оранжерея, системы термовлагорегулирования, метод росы, элемент Пельтье, моделирование Matlab Stateflow.

Keywords: On-board greenhouse, thermal and moisture control systems, dew method, Peltier element, Matlab Stateflow modeling.

Введение

В работе [1] дана исчерпывающая информация об использовании бортовых оранжерей во время космического полета, приведены классификации и сравнения существовавших оранжерей, а также приведена глава о системах термовлагоуправления в вегетационных камерах. Опираясь на данный источник будет происходил обзор способов регулирования климатических параметров.

Системы термовлагорегулирования (СТВР) в космических оранжереях

Основные характеристики СТВР в космических оранжереях показаны на рисунке 1.

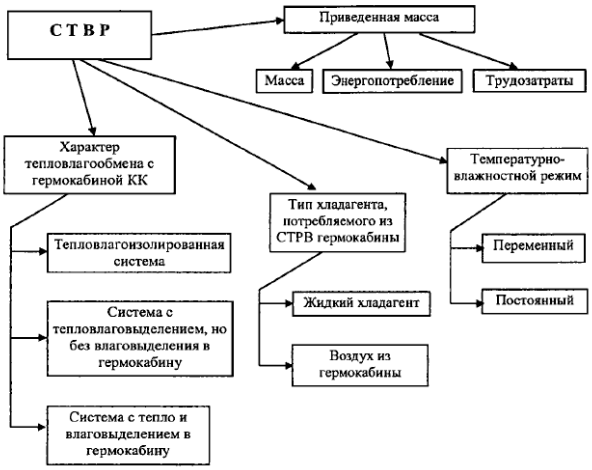

Рисунок 1 – Основные характеристики системы терморегулирования космических оранжерей [6]

Задачей СТВР является регулирование температуры и влажности воздуха в вегетационной камере в допустимых для выращиваемых растений диапазонных значений. По характеру тепловлагообмена с гермокабиной КЛА системы можно подразделить на теплоизолированные, влагоизолированные и с тепло- и влаговыделением в кабину. Первые соответствуют изолированным системам регулирования состава газовой среды (СРСГС), а последние – проточным. Однако изолированные СРСГС не всегда исключают тепловыделение оранжереи в

гермокабину от системы освещения и различных исполнительных механизмов. Может быть построена СТВР без влаговыделения в кабину (с осушением воздуха внутренним кондиционером до равного влагосодержания с кабинным воздухом), но с тепловыделением. Большинство существующих оранжерей не имеют полной изоляции по теплу и по влаге. Таким образом они представляют некоторую нагрузку для СТВР кабины.

В зависимости от назначения оранжереи СТВР может быть рассчитана либо на режим стабилизации температуры и влажности в вегетационной камере без предъявления особых требований к характеристикам переходных процессов, либо на отработку более сложных алгоритмов регулирования, как, например, в системах с автоматической оптимизацией параметров среды обитания растений. В последнем случае необходимо закладывать исполнительные элементы повышенной мощности для обеспечения достаточно быстрых переходных процессов по температуре или влажности в вегетационной камере.

Для терморегулирования в оранжереях с небольшим объемом вегетационных камер был разработан так называемый метод росы, хорошо зарекомендовавший себя в условиях микрогравитации в исследовательских космических оранжереях PGBA, CPBF и PRU. Суть его состоит в регулировании температуры воды, содержащейся внутри пористых втулок, наружная поверхность которых контактирует с потоком воздуха из ростовой камеры оранжереи. Внутри пористых втулок поддерживают небольшой отрицательный водный потенциал с помощью сильфонной и мембранной емкости и т.д. Если температуру наружной поверхности втулок поддерживают выше точки росы в обдувающем воздухе, то вода начнет испарятся через поры втулок, повышая влажность воздуха. Если же поверхность втулок будет иметь температуру ниже точки росы воздуха, то пар из воздуха начинает конденсироваться и отсасываться через поры во внутренний объем пористых наконечников. Подобная система была разработана в Висконсинском центре космической автоматики и робототехники и получила название ASTROPOR. Упрощенная схема системы изображена на рисунке 2.

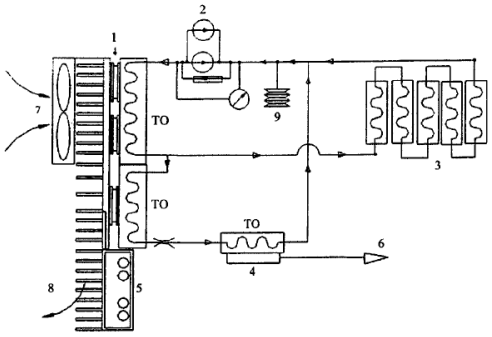

Рисунок 2 – Упрощенная схема системы ASTROPOR

На рисунке 2:1 – система терморегулирования атмосферы в вегетационной камере. 1 – термоэлектрические элементы; 2 – водяной насос; 3 – охлаждающие контуры; 4 – пористая пластина осушителя; 5 – блок освещения; 6 – отвод конденсата воды; 7 – входные вентиляторы; 8 – выход контура воздушного охлаждения; 9 – сильфон; ТО – теплообменники жидкостные [6]

Для регулирования влажности воздуха в вегетационных камерах ряда космических оранжерей российских аналогов применяется подобная система с водонасыщением капиллярно-пористыми пластинами. Первоначально пластины пропитываются водой так, чтобы все капилляры были заполнены, после чего воду в капиллярах держат при небольшом отрицательном давлении. Поверхности пластин, обращенные внутрь вегетационной камеры, обеспечивают контакт капиллярной влаги с обдувающим ее потоком воздуха. Температура поверхностей пластин регулируется при помощи термоэлемента (ТЭ). Если температура пластины выше точки росы обтекающего ее воздуха, идет испарение с поверхности пор и увлажнение воздуха в вегетационной камере. При понижении температуры пластины ниже точки росы происходит конденсация пара на поверхности пластины и тем самым осушение воздуха. Сконденсированная вода отводится через капилляры пластины в резервуар.

Описанные системы показали высокую работоспособность. В упомянутой выше установке PGBA поддерживался постоянный режим температуры и влажности воздуха. Во время испытаний системы в космосе значения температура изменялась в пределах 24,6°C до 25,9°C при заданном значении 25°C. Значение

относительной влажности воздуха находилось в пределах 76,9 % до 80,3 % при заданной влажности 78%.

Система термовлагорегулирования установки BPS поддерживала переменный термовлажностный режим. При испытаниях системы в космосе задаваемые значения температуры находились в пределах от 20 до 28°C, а влажности в диапазоне от 65 до 85%. Анализ отклонений реальных значений температуры и влажности от задаваемых показал, что СТВР поддерживает заданную температуру с точностью до ±1 °C, а влажность с точностью ±10 %.

Регулирование климатических параметров с помощью элемента Пельтье

Для регулирования температуры и относительной влажности воздуха может быть использован осушитель воздуха на основе элемента Пельтье.

Элемент Пельтье – это ТЭ преобразователь, принцип действия которого основан на эффекте Пельтье – возникновении разности температур при протекании электрического тока. [2]

Для эффекта осушения воздуха необходимо добиться достижения на холодной стороне модуля температуры, которой соответствует точка росы. Температура, при которой влага будет конденсироваться и стекать во влагоприемник, зависит от температуры окружающей среды и влажности воздуха в помещении.

Внешний вид устройства показан на рисунке 3, взятый из патента на осушитель воздуха на основе эффекта Пельтье для встраивания в резервуар.

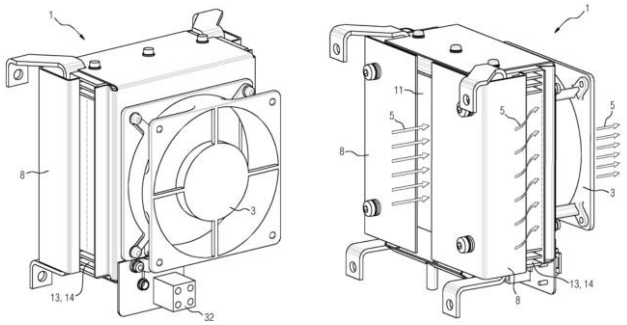

Рисунок 3 – Внешний вид устройства [3]

Изобретение касается осушительного устройства для осушения воздуха в резервуаре. Оно имеет термоэлектрический элемент, который выполнен в виде одноступенчатого элемента Пельтье. Он термически соединен с холодной стороной и горячей стороной, при этом холодная сторона выполнена таким образом, что при эксплуатации осушительного устройства на холодной стороне конденсируется влага воздуха.

Алгоритм управления параметрами микроклимата бортовой оранжереи

Алгоритм управления параметрами микроклимата БО разрабатывался в пакете MATLAB Stateflow.

Stateflow представляет графический язык для создания управляющей логики на основе конечных автоматов, таблиц истинности и блок-схем. Stateflow позволяет проектировать и разрабатывать диспетчерское управление, планирование задач, управление отказами, протоколы связи, пользовательские интерфейсы и гибридные системы. [4]

Для регулирования климатических параметров, предусмотрены следующие исполнительные механизмы: вентилятор, термоэлектрический модуль Пельтье и механизм открытия и закрытия дверей.

Для демонстрации принципа действия был реализован регулятор в MATLAB Stateflow, который показан на рисунке 4.

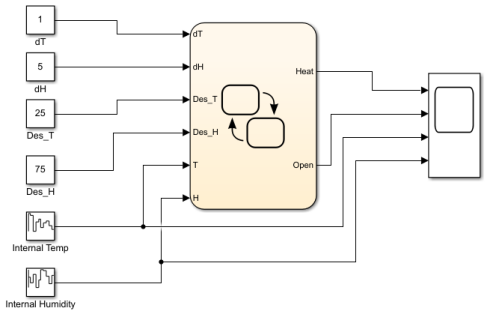

Рисунок 4 – Регулятор климата внутри ростовой камеры

На вход регулятора поступают сигналы: желаемые температура и относительная влажность, допустимая погрешность, текущие значения температуры и влажности. На выходе сигналы управляющих воздействий: открыть

дверцы и включить либо вентилятор, либо осушитель. Внутри блока регулятора реализована следующая схема, показанная на рисунке 5.

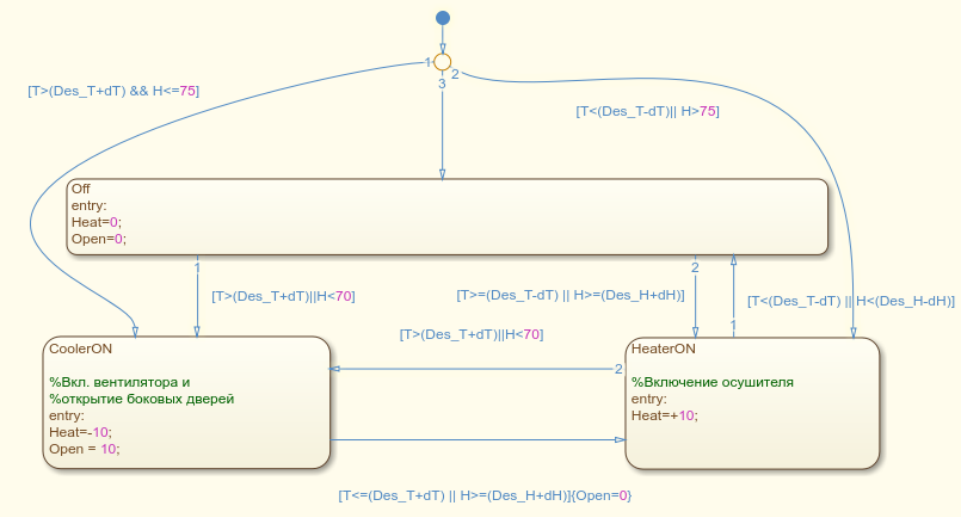

Рисунок 5 – Конечный автомат управления климатическими параметрами

Логика работы автомата заключается в следующем. Когда внутри ростовой камеры наблюдается высокая температура (выше желаемой), открываются двери и начинает работу вентилятор, но при этом должно выполняться условие, что влажность не превышает влажности внутри кабины МКС. В противном случае сначала будет включен осушитель воздуха и затем будут открыты дверцы.

Когда в ростовой камере наблюдается низкая температура (ниже желаемой), то включается осушитель воздуха, поскольку при уменьшении относительной влажности воздуха температура воздуха увеличивается. На рисунке 6 приведен графики изменения влажности и температуры внутри камеры и изменения управляющих воздействий.

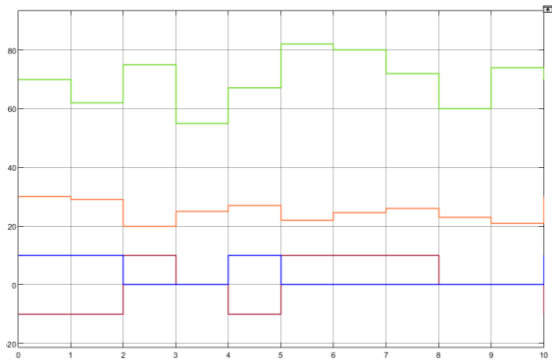

Рисунок 6 – График изменения влажности и температуры внутри камеры и изменения управляющих воздействий

На рисунке 6 зеленый цвет – график изменения относительной влажности, оранжевый – график изменения температуры воздуха, синий – сигнал открытия дверей, коричневый – вкл/выкл вентилятора/осушителя

Уровень сигнал Heat (коричневый цвет на графике) +10 соответствует включению осушителя, -10 включению вентилятора.

Соответственно, в первом случае T=30°C, H=70%, нужно уменьшать температуру, а значит открывать дверцы и включать вентилятор. Аналогично можно рассмотреть все остальные случае по графикам.

Заключение

В ходе проделанной работы были проанализированы существующие методы регулирования климатических параметров внутри вегетационной камеры бортовой оранжереи и предложен альтернативный способ регулирования температурновлажностного режима.

Список литературы

1. Ю.А. Беркович, Н.М. Кривобок, С.О. Смолянина, А.Н. Ерохин. Космические оранжереи: настоящее и будущее. – М.: Фирма «Слово», 2005 – 386с.;
2. Что такое элемент Пельтье [Электронный ресурс] URL: https://www.asutpp.ru/chto-takoe-element-pelte-i-ego-primenenie.html (дата обращения 19.02.2022);
3. Осушитель воздуха на основе эффекта Пельтье для встраивания в резервуар [Электронный ресурс] URL: https://findpatent.ru/patent/267/2676787.html (дата обращения 03.02.2022);
4. MATLAB Stateflow [Электронный ресурс] URL: https://exponenta.ru/stateflow (дата обращения 03.02.2022);

References

1. Yu.A. Berkovich, N.M. Krivobok, S.O. Smolyanina, A.N. Erokhin. Space greenhouses: the present and the future. – M.: Firm "Slovo", 2005 – 386c.;
2. What is the Peltier element [Electronic resource] URL: https://www.asutpp.ru/chto-takoe-element-pelte-i-ego-primenenie .html (accessed 19.02.2022);

3. Dehumidifier based on the Peltier effect for embedding in a tank [Electronic resource] URL: https://findpatent.ru/patent/267/2676787.html (accessed 03.02.2022);
4. MATLAB Stateflow [Electronic resource] URL: https://exponenta.ru/stateflow (accessed 03.02.2022);

© Золотухина Д.А., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.

Для цитирования: Золотухина Д.А. СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В БОРТОВЫХ ОРАНЖЕРЕЯХ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.