

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.942

doi: 10.30987/2658-6436-2026-1-49-57

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТЕЙНЕРНОЙ ТЕПЛИЦЫ

Александр Федорович Семенов

Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия

semaf84@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5933-8258>

Аннотация. *Описано поэтапное построение и применение экспериментально-аналитической модели теплотехнических характеристик контейнерной теплицы. Построена автоматическая система регистрации параметров микроклимата на основе Arduino. Выполнен анализ экспериментальных данных, полученных автоматизированной системой измерения и хранения информации о температурах и влажности воздуха в осенне-весенний период наблюдений. Разработана и апробирована математическая модель контейнерной теплицы, позволяющая определять теплотехнические характеристики объекта наблюдения в температурных условиях недоступных в месте проведения эксперимента. Исследование показало эффективность применения экспериментально-аналитической математической модели на этапе проектирования контейнерной теплицы для учета климатических особенностей места расположения и теплоизоляционных возможностей применяемых материалов.*

Ключевые слова: контейнерная теплица, автоматизированное овощеводство, автоматическая система измерения и хранения информации, экспериментально-аналитическая модель, тепловые потери, количество теплоты

Для цитирования: Семенов А.Ф. Экспериментально-аналитическая модель для определения теплотехнических характеристик контейнерной теплицы // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2026. №1 (31). С. 49-57. doi: 10.30987/2658-6436-2026-1-49-57.

Original article

Open Access Article

EXPERIMENTALLY ANALYTICAL MODEL FOR DETERMINING THERMAL CHARACTERISTICS OF CONTAINER GREENHOUSES

Alexander F. Semenov

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

semaf84@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5933-8258>

Abstract. *The paper describes a staged construction and application of an experimentally analytical model for determining the thermal characteristics of container greenhouses; develops an automatic system for registering microclimate parameters based on Arduino; performs an analysis of experimental data collected by the automated measuring and storage system regarding air temperatures and humidity during the autumn-spring observation period. A mathematical model of a container greenhouse has been developed and tested, allowing determining the thermal characteristics of the observed object under temperature conditions unavailable at the experiment location. The study demonstrates the effectiveness of using an experimentally analytical mathematical model at the design stage of container greenhouses to account for climatic features of the location and thermal insulation capabilities of the materials used.*

Keywords: container greenhouse, automated vegetable growing, automated measurement and storage system, experimentally analytical model, heat losses, amount of heat

For citation: Semenov A.F. Experimentally Analytical Model for Determining Thermal Characteristics of Container Greenhouses. Automation and modeling in design and management, 2026, no. 1 (31). pp. 49-57. doi: 10.30987/2658-6436-2026-1-49-57.

Введение

Контейнерные теплицы являются одним из перспективных направлений развития автоматизированного овощеводства в защищенном грунте, все чаще встречаются примеры производства овощной продукции в регионах ранее не пригодных для ведения тепличного овощеводства из-за холодного климата. Развитие овощеводства в таких регионах осложняется низкими отрицательными температурами, недостаточной естественной освещенностью и длиной дня, ограниченной транспортной доступностью. Сочетание этих факторов делает экономически не рентабельным выращивание овощей в «классических» светопрозрачных теплицах, в связи со сложностью их строительства и дальнейшей эксплуатацией в таких условиях. Отличительной особенностью контейнерных теплиц является возможная полная или частичная герметизация помещения для последующего автономного выращивания овощей или зелени в течении одного цикла от посева до сбора урожая. Такой тип теплиц может быть изготовлен производителем на базе стандартных утепленных контейнеров различного объема или в виде утепленной каркасной конструкции схожих размеров, и доставлен к месту эксплуатации доступным видом транспорта. Несмотря на преимущества предлагаемых конструкций существует проблемы: отсутствие данных длительной эксплуатации таких конструкции в северных регионах, а также математических моделей, описывающих изменение теплотехнических характеристик теплицы от колебаний внешних температур и выбранного микроклимат теплицы.

Актуальность данной работы заключается в том, что экспериментально-аналитическая модель теплотехнических свойств контейнерной теплицы является важной и необходимой при проектировании помещений такого типа для эксплуатации в регионах с экстремальными климатическими условиями.

Математическое моделирование изменения характеристик утепленных контейнеров и каркасных зданий схожих размеров осложняется невозможностью проведения замера необходимых параметров в месте эксплуатации, а также при построении модели необходимо учитывать возможное изменение места и условий эксплуатации, так как контейнерная теплица является мобильной конструкцией.

Цель данной работы разработать экспериментально-аналитическую модель для определения теплотехнических характеристик контейнерной теплицы, которая обеспечит требуемую точность получаемых данных в совокупности с приемлемыми трудозатратами и сокращением времени на определение применимости проектируемых контейнерных теплиц под определенные климатические условия места эксплуатации.

Материалы, модели, эксперименты и методы

Получим экспериментальные данные, необходимые для создания математической модели, разработав контейнерную теплицу со стеллажной гидропонной установкой периодического подтопления. Теплица на данном этапе эксперимента снабжена автоматической системой приточно-вытяжной вентиляции. Контроль и управление системой обогрева и приточно-вытяжной вентиляции осуществляться с помощью программируемого контроллера температуры.

Запись изменения контролируемых параметров выполняет система автоматического измерения и хранения информации об изменении температуры. Измерения будут проводиться и записываться в файл автоматически через заданное время с помощью системы на основе *Arduino*. На данном этапе все измерения проводятся без установки технологического оборудования и системы освещения.

Полученные данные об изменении параметров проходят первичную обработку, участвуют в настройке математической модели и дальнейшем математическом расчете характеристик теплицы в предполагаемых, но недоступных в месте проведения эксперимента режимах. Обработка экспериментальных данных, расчеты и моделирование выполнены в программе *Matlab*.

Результаты

Экспериментально-аналитическая математическая модель описывает изменение: внешней и внутренней температуры воздуха, влажности воздуха, удельной теплоемкости воздуха в теплице, количества теплоты, необходимого для нагрева воздуха в теплице до необходимой температуры, тепловых потерь от разности температур в зависимости от размеров теплицы и теплотехнических характеристик применяемых материалов. Объектом исследования является контейнерная теплица с внешними размерами 2100×2650×2400 мм, площадью пола 5,5 м² и полезным объёмом 12 м³, что соответствует стандартному контейнеру, рассчитанному на пять тонн, и упрощает дальнейшее применение полученных результатов. Каркас изготовлен из профильной трубы или доски толщиной 50 мм, внутренняя часть стен, пола и потолка утеплена отражающей изоляцией ВПЭ (вспененный полиэтилен) толщиной 5 мм, далее конструкция утеплена слоем пенополистерола ПСБ-15У толщиной 50 мм, слой паро-ветро изоляции и внешняя сторона теплицы выполнена из оцинкованного профнастила НС-10.40.

Предварительный расчет тепловых потерь контейнерной теплицы, по упрощенным методикам теплотехнических расчетов, составляют 51 Вт/м² или 1600 Вт суммарных тепловых потерь при длительно установившейся температуре наружного воздуха -45 °С и нормированной температуре воздуха в теплице 18 °С [1 – 3].

Проверка теплотехнических характеристик будет проведена на основе данных, полученных от системы автоматического измерения и хранения информации об изменении температур и влажности. Измерения температур и влажности проводятся автоматически каждые 120 минут и записываются в файл в формате *.txt* с помощью системы *Arduino* (рис. 1). Измерения проводятся без установки технологического оборудования, необходимого для выращивания растений и системы освещения.

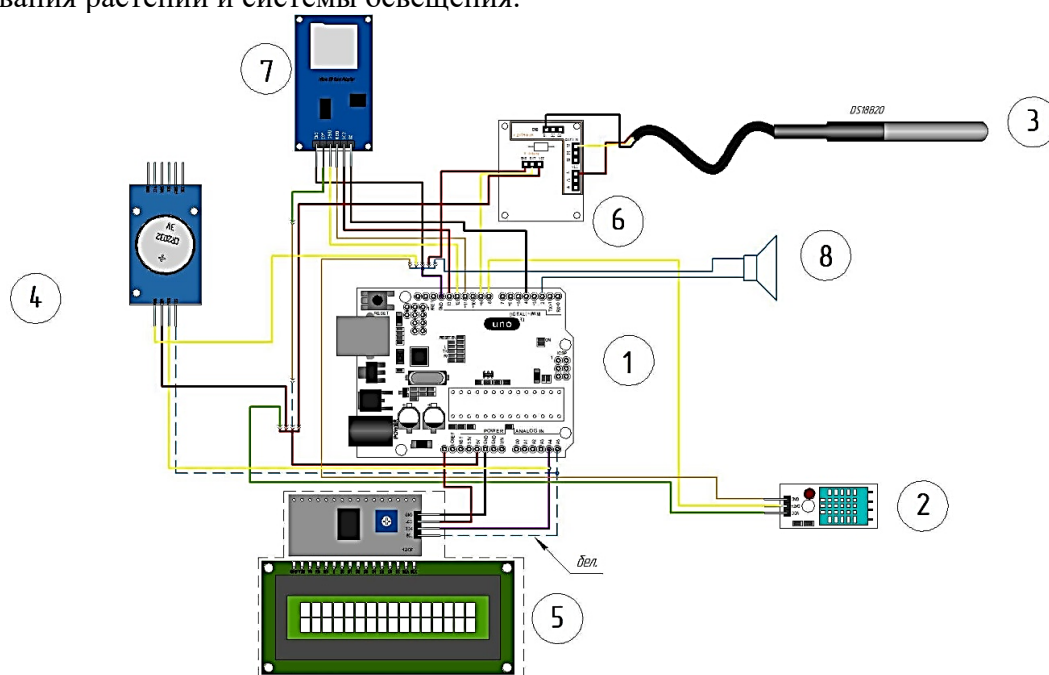


Рис. 1. Система автоматического измерения и хранения информации
Fig. 1. Automatic measurement and information storage system

Система автоматического измерения и хранения информации состоит из: 1 – платы *Arduino Uno*; 2 – датчика температуры и влажности в теплице *DHT 11*; 3 – датчика внешней температуры *DS18B20*; 4 – модуля часов *DS3231*; 5 – дисплея *LCD1602*; 6 – подтягивающего резистора для датчика *DS18B20*; 7 – модуля карты памяти *MicroSD Card Adapter*; 8 – зуммера. Автоматическая запись измерений температур и влажности проводилась с 16.09.2025 г. по 22.02.2025 г., всего 1000 записей по каждому контролируемому параметру, дальнейшая запись не проводится, так как среднесуточная температура воздуха и длина дня увеличиваются и период максимально низких температур окончен [4]. Полученные данные обработаны в приложении *Matlab* и представлены в виде графических зависимостей температур (*i* – температура в теплице, °С; *o* – внешняя температура, °С) (рис. 2).

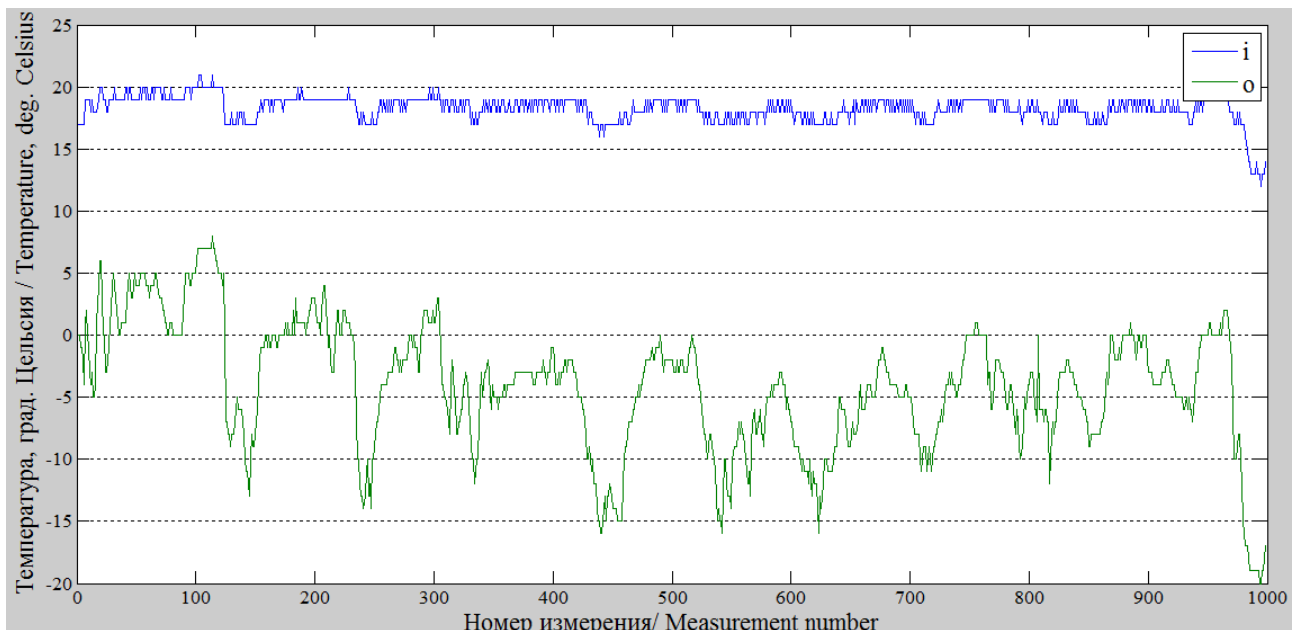


Рис. 2. Зависимость температур воздуха
Fig. 2. Dependence of air temperatures

Получена графическая зависимость температуры и влажности воздуха в теплице (i – температура в теплице, °C; w – влажность воздуха, %) (рис. 2).

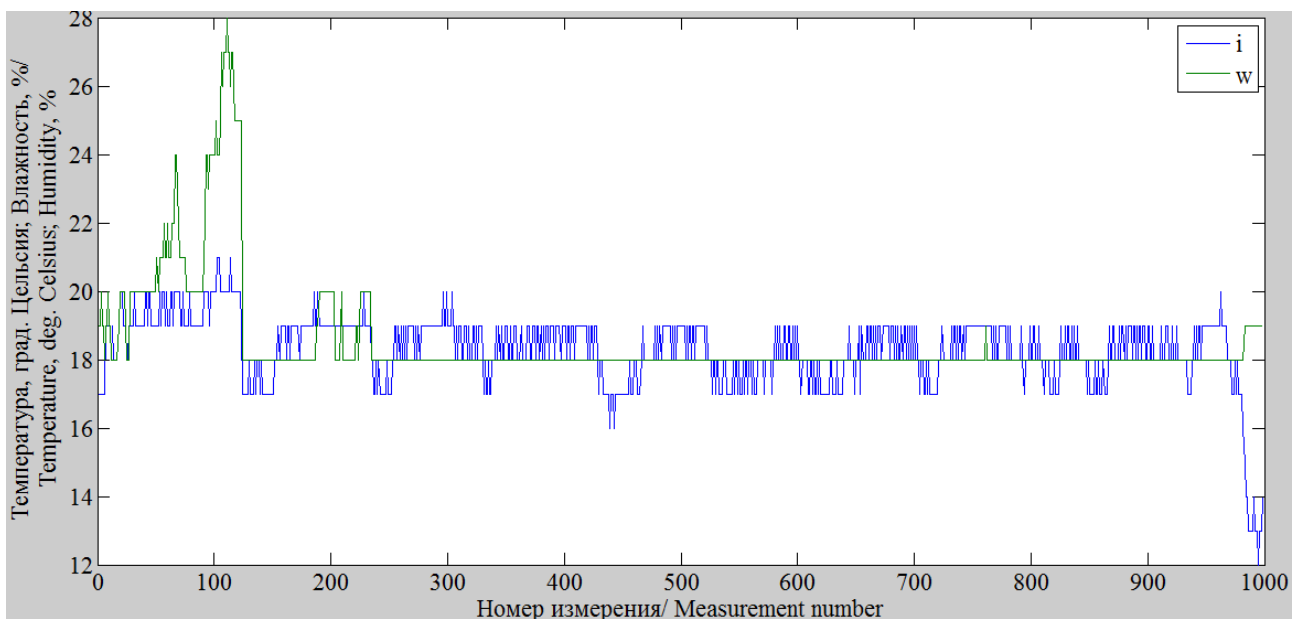


Рис. 3. Зависимость температуры и влажности воздуха в теплице
Fig. 3. The dependence of temperature and humidity in the greenhouse

На протяжении всего эксперимента проводился контроль потребления электрической энергии системой автоматического обогрева теплицы (табл. 1).

Таблица 1
 Table 1

Потребление электрической энергии на обогрев теплицы
Electric energy consumption for greenhouse heating

Дата снятия показаний прибора учета	16.09.2024	02.10.2024	18.11.2024	22.02.2025
Показания кВт·ч	7489,8	7500,0	7629,9	7899,9
Потребление, кВт·ч	0	10,2	129,9	270,0
Среднее в сутки, кВт·ч	-	0,64	2,76	2,81
Время работы обогрева, час	-	8,16	103,92	216,00
Среднее в сутки, час	-	0,51	2,21	2,25
Среднее в сутки, мин	-	30,60	132,66	135,00

Анализируя данные о потреблении энергии на компенсацию тепловых потерь теплицы можно сделаны предварительные выводы о:

- среднесуточное потребление энергии в зависимости от среднесуточной температуры и длинны дня на протяжении эксперимента изменялась от 0,64 до 2,81 кВт·ч в сутки;
- снижение температуры окружающего воздуха увеличивало время работы электрического конвектора, мощностью 1250 Вт, а диапазон изменения времени работы составляет 0,51...2,25 часов или 30,6...135 мин в сутки;
- тепловые потери теплицы меняются от 0,86 до 3,77 Вт/м² или 120 Вт суммарных тепловых потерь при температуре наружного воздуха -25 °С и поддерживаемой внутренней температуре 18 °С [5].

Натурный эксперимент подтвердил способность контейнерной теплицы эффективно сохранять тепловую энергии. Значительное отклонения тепловых потерь, рассчитанных по общепринятым методикам и определяемых по энергопотреблению системы компенсации тепловых потерь, объясняется аномально теплым периодом наблюдений, в течении которого температура редко и на непродолжительное время опускалась до -25 °С при расчетной температуре в -45 °С. Для определения тепловых потерь за пределами наблюдаемого диапазона необходимо разработать экспериментально-аналитическую математическую модель теплицы.

Разработана программа, рассчитывающая удельную теплоемкости воздуха в теплице (c), количество теплоты необходимое для нагрева воздуха в теплице до необходимой температуры (Q_a), изменение тепловых потерь от разности температур (Q_i) в зависимости от размеров теплицы (h, l, b), значений внешней и внутренней температуры воздуха (o, i), влажности воздуха, полученных в ходе эксперимента (w) и теплотехнических характеристик применяемых материалов (r) (рис. 4) [6, 7].

```

temp.m*  X  +
1 - i=load('in.txt');           %температура в теплице - град Цельсия;
2 - o=load('out.txt');         %температура внешняя - град Цельсия
3 - w=load('w.txt');          %влажность воздуха в теплице - %;
4 - cv=1.005;                 %средняя удельная теплоемкость сухого воздуха
5 -                           %кДж/(кг*град Цельсия);
6 - cp=1.8;                   %средняя удельная теплоемкость водяного пара
7 -                           %кДж/(кг*град Цельсия);
8 - c=(cv+cp*(w*0.01))/1000; %удельная теплоемкость воздуха в теплице
9 -                           %кДж/(кг*град Цельсия);
10 - p=1.2056;                %плотность воздуха в теплице - кг/м3;
11 - V=12;                    %полезный объём теплицы - м3;
12 - m=p*V;                   %масса воздуха - кг;
13 - Qa=c.*(i-o)*1000;        %количество теплоты необходимое для нагрева
14 -                           %внешнего воздуха до заданного значения - Дж;
15 - r=0.045;                 %тепловое сопротивление ограждения теплицы - Вт/м2*К
16 - h=2.4;                   %высота теплицы - м;
17 - l=2.65;                  %длина теплицы - м;
18 - b=2.1;                   %ширина теплицы - м;
19 - A=((h*b+h*l+b*l)*2);     %площадь стены+пол+потолок - м2;
20 - Qi=r*(i-o)*A;           %изменение тепловых потерь теплицы
21 -                           %от разности температур - Вт;

```

Рис. 4. Программа для определения параметров теплицы
Fig. 4. A program for determining greenhouse parameters

Результат работы программы отображается в рабочей области *Matlab* (рис. 5).

Построим графики изменения количества теплоты, необходимого для нагрева воздуха в теплице до необходимой температуры (Q_a , Дж), и тепловых потерь теплицы (Q_i , Вт) за весь период проведения эксперимента (рис. 6).

Полученный график показывает плавный рост и снижение экстремумов Q_a и Q_i в течении всего периода наблюдения, что объясняется снижением среднесуточной температуры воздуха в период с сентября по декабрь и повышение этого параметра с января по февраль, когда эксперимент был завершён. Эксперимент не дал информации как будут меняться Q_a и

Q_i при длительном снижении температуры до $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$, для получения необходимых данных проведем моделирование изменения параметров теплицы, уменьшив экспериментально полученные данные о изменении внешней температуры на $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для этого необходимо добавить дополнительные действия в код программы (рис. 7).

Workspace			
Name ▲	Value	Min	Max
A	33.9300	33.9300	33.9300
Qa	999x1 double	18.9150	44.4510
Qi	999x1 double	19.8491	50.3861
V	12	12	12
b	2.1000	2.1000	2.1000
c	999x1 double	0.0013	0.0015
cp	1.8000	1.8000	1.8000
cv	1.0050	1.0050	1.0050
h	2.4000	2.4000	2.4000
i	999x1 double	12	21
l	2.6500	2.6500	2.6500
m	14.4672	14.4672	14.4672
o	999x1 double	-20	8
p	1.2056	1.2056	1.2056
r	0.0450	0.0450	0.0450
w	999x1 double	18	28

Рис. 5. Рабочая область с результатами работы программы
Fig. 5. A workspace with the results of the program

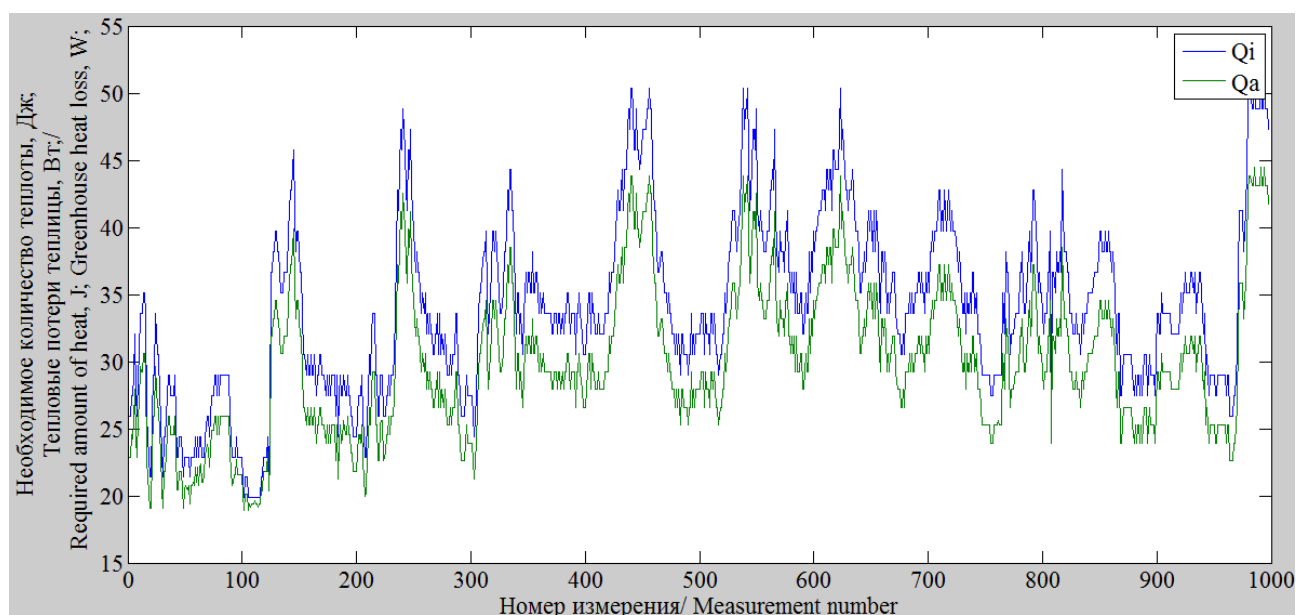


Рис. 6. Изменение количества теплоты, необходимого для нагрева воздуха, и тепловых потерь теплицы
Fig. 6. Changing the amount of heat needed to heat the air and heat losses of the greenhouse

```

temp.m  x  o_25.m*  x  +
1 -  o25=o-25           %снижение внешней температуры на 25 град Цельсия;
2 -  Qa25=c.*(i-o25)*1000; %количество теплоты необходимое для нагрева
3 -                               %внешнего воздуха до заданного значения при
4 -                               %похолодания на 25 град Цельсия - Дж;
5 -  Qi25=r.*(i-o25)*A;    %изменение тепловых потерь теплицы от разности
6 -                               %температур при похолодания на 25 град Цельсия - Вт;
7 -  u=Qi/A               %тепловые потери при проведении эксперимента - Вт/м2;
8 -  u25=Qi25/A           %тепловые потери при похолодании - Вт/м2;

```

Рис. 7. Программа для определения Q_a и Q_i при снижении температуры до $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$
Fig. 7. A program for determining Q_a and Q_i when the temperature drops to $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$

Данные полученные в результате работы программы обработаны в приложении *Matlab* и представлены в виде графических зависимостей температур (i – температура в теплице, °C; $o25$ – внешняя температура при похолодании на 25 °C) (рис. 8).

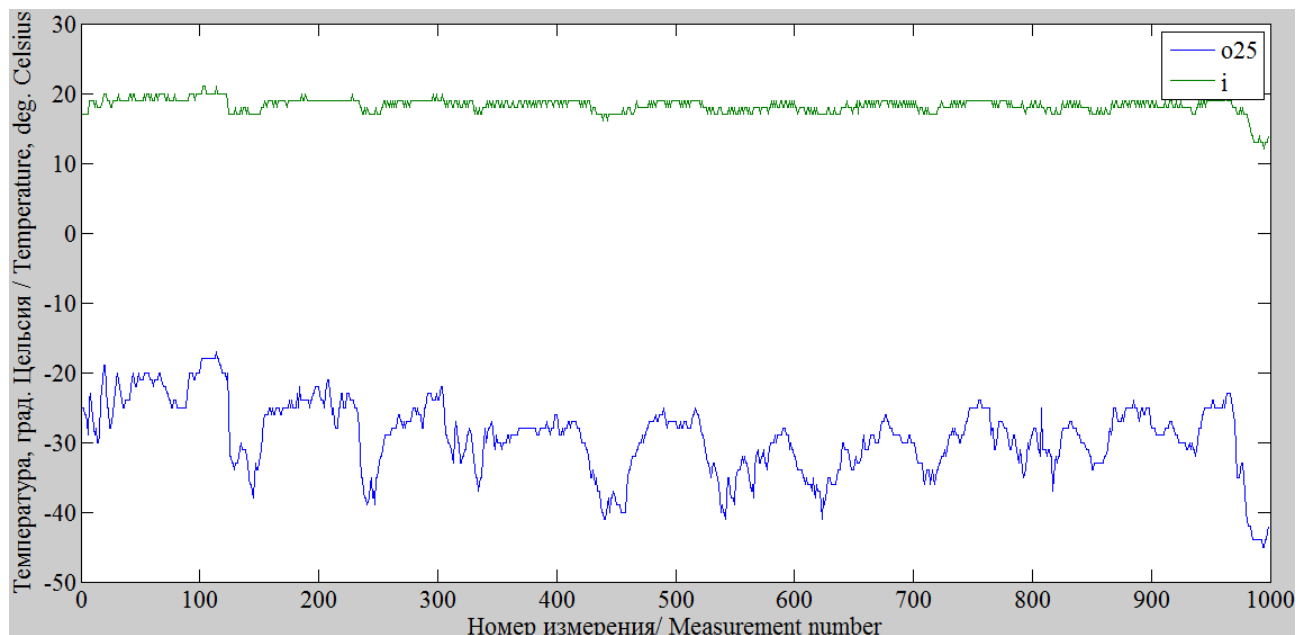


Рис. 8. Зависимость температур воздуха при похолодании
Fig. 8. Dependence of air temperatures during cooling

Построим графики изменения количества теплоты, необходимое для нагрева воздуха в теплице до необходимой температуры ($Qa25$, Дж), и тепловых потерь теплицы ($Qi25$, Вт) при похолодании на 25 °C без изменения нормированной температуры воздуха в теплице (рис. 9).

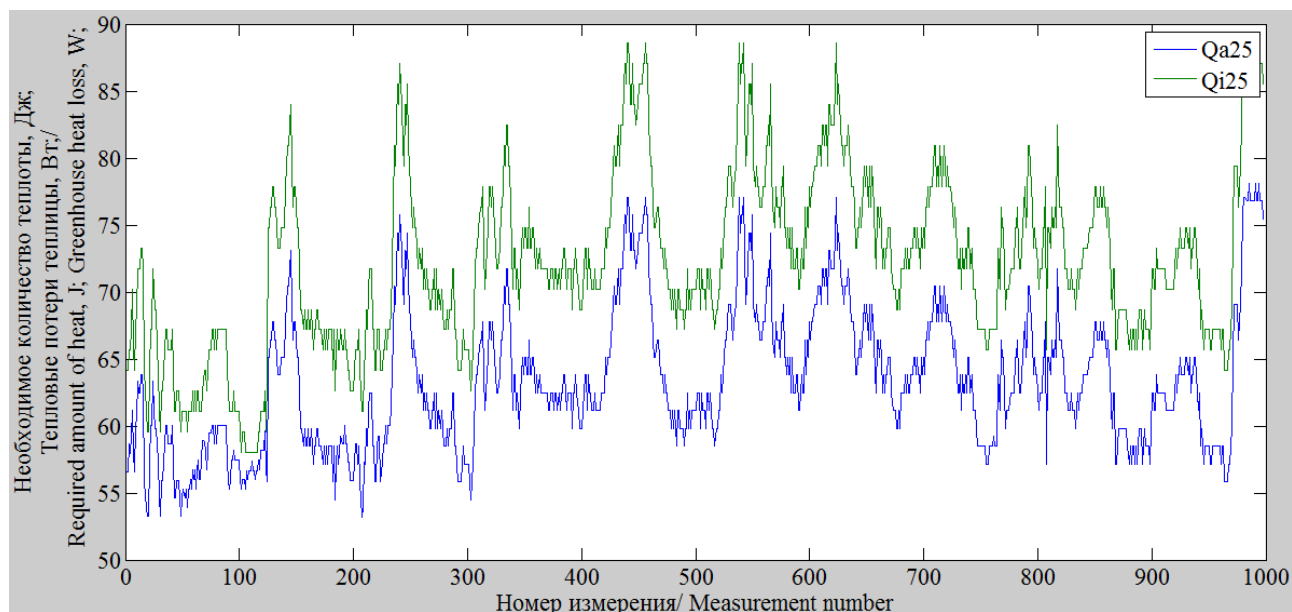


Рис. 9. Изменение необходимого количества теплоты и тепловых потерь теплицы при похолодании
Fig. 9. The change in the required amount of heat and heat losses of the greenhouse during cooling

Результаты работы программы, обрабатывающей данные, полученные при проведении эксперимента и при похолодании, отображаются в рабочей области *Matlab* (рис. 10).

Проведя анализ полученных результатов, можно сделать вывод об увеличении количества теплоты, необходимого для нагрева воздуха в теплице до необходимой температуры, и тепловых потерь теплицы при похолодании. Также наблюдается изменение тепловых потерь (u , Вт/м²) теплицы в ходе эксперимента и их повышение ($u25$, Вт/м²) при

похолодании до $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значения тепловых потерь, полученные в ходе эксперимента и на основе данных от работы модели эмитирующей похолодание, не превышают возможности источника тепловой энергии выбранного ранее, что говорит о возможности применения контейнерной теплицы в регионах с экстремально низкими температурами [8 – 12]. На данном этапе модель не имеет возможности учитывать влияние направления и скорости ветра.

Workspace			
Name ▲	Value	Min	Max
Qa	999x1 double	18.9150	44.4510
Qa25	999x1 double	53.1600	78.1260
Qi	999x1 double	19.8491	50.3861
Qi25	999x1 double	58.0203	88.5573
o	999x1 double	-20	8
o25	999x1 double	-45	-17
u	999x1 double	0.5850	1.4850
u25	999x1 double	1.7100	2.6100

Рис. 10. Рабочая область с результатами расчетов в двух режимах

Fig. 10. A workspace with calculation results in two modes

Обсуждение/Заключение

Экспериментально-аналитическая модель для определения теплотехнических характеристик контейнерной теплицы на данном этапе позволяет определять зависимость тепловых потерь от изменения климатических условий в месте размещения объекта проектирования. Есть возможность определять, как изменение габаритных размеров контейнерной теплицы или метода утепления повлияет на затраты тепловой энергии для поддержания температуры, необходимой для выращивания растений. Можно прогнозировать изменение затрат энергии на выращивание при смене климатической зоны – это необходимо в связи с мобильностью рассматриваемой конструкции. Модель позволяет с высокой точностью определять затраты энергии на обогрев в течение одного периода выращивания растения с учетом теплового режима и времени роста. На основе этих данных рассчитывается себестоимость получаемой продукции на этапе проектирования теплицы и выбора места ее размещения.

Представленная экспериментально-аналитическая модель является результатом обработки экспериментальных данных, полученных в течение осенне-весеннего периода наблюдения в 2024...2025 годах, по результатам наблюдений 2025...2026 годов модель будет обновляться и усложняться, так как планируется анализировать работу теплицы в полнофункциональном режиме с учетом режимов работы всего спектра технологического оборудования и урожайности выращиваемых культур.

Список источников:

References:

1. Стратегия наукоемкого ресурсосберегающего круглогодичного производства высококачественной растительной продукции / Г.Г. Панова, В.А. Драгавцев, Ю.И. Желтов и др. // Аграрная Россия. – 2009. – № 5. – С. 7-10.
2. Фитотехкомплексы в России: основы создания и перспективы использования для круглогодичного получения качественной растительной продукции в местах проживания и работы населения / Г.Г. Панова, И.Н. Черноусов, О.Р. Удалова и др. // Общество. Среда. Развитие. – 2015. – № 4. – С. 196-203.
3. Семенов А.Ф. Контейнерная вертикальная теплица для выращивания микрозелени // Материалы международной научно-практической конференции. – Красноярск. – 16-18 апреля 2024.

1. Panova GG, Dragavtsev VA, Zeltov YI, et al. Strategy of the High Technology Resource Saving All-The-Year-Round Intensive Manufacture of High-Quality Vegetative Production. *Agraernaya Rossiya (Agrarian Russia)*. 2009;(5):7-10.
2. Panova GG, Chernousov IN, Udalaeva OR, et al. Phytotechcomplexes in Russia: Basis for Creation and Perspectives of Use for Year-Round Obtaining High Qualitative Plant Production in the Place of Residence and Work of the People. *Society. Environment. Development*. 2015;(4):196-203.
3. Semenov AF. Container Vertical Greenhouse for Growing Microgreens. In: *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference; 2024 Apr 16-18; Krasnoyarsk. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Sgrarian University; 2024. p. 158-161.*

4. Книга Ю.А., Макеева Ю.Н. Прибор для мониторинга температуры и влажности воздуха на основе Arduino // Материалы Всероссийской научно-практической конференции для преподавателей и научных сотрудников. – Иркутск. – 2024.
5. Семенов А.Ф. Экспериментальное определение тепловых потерь вертикальной контейнерной теплицы // Материалы международной научно-практической конференции. – Красноярск. – 2025.
6. Семенов А.Ф. Моделирование энергосберегающих режимов выращивания овощей в теплице: Диссертация канд. тех. наук по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве. Красноярск.: Красноярский ГАУ, 2011. – 167 с.
7. Черемных С.В. Методика расчета теплотехнических характеристик многослойной ограждающей конструкции // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии. – 2022. – № 2. – С. 30-39.
8. Кондратьева Н.П., Владыкин И.Р., Логинов В.В., Большин Р.Г. Математическая модель температурного поля в теплице// Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – №5 (15). – С. 165-169.
9. Компьютерный анализ основных задач строительной теплотехники / Б.С. Матозимов, М.Д. Кутуев, А.К. Супибекова и др.// Наука и инновационные технологии. – Бишкек. – 2016.
10. Пенджиев А.М. Математическая модель теплотехнических расчетов микроклимата траншейной солнечной теплицы // Международный научный журнал альтернативная энергетика и экология. – 2010. – №8 (88). – С. 48-52.
11. Попов М.Ю. Нестационарная математическая модель теплового баланса автономной зимней теплицы // Вестник НГИЭИ. – 2025. – № 3. – С. 59-70.
12. Семенов В.Г., Крушель Е.Г. Математическая модель микроклимата теплицы // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2009. – №6 (54). – С. 32-35.
4. Kniga YA, Makeeva YN. Device for Monitoring Air Temperature and Humidity Based on Arduino. In: Proceedings of the All-Russian Scientific-Practical Conference for Lecturers and Researches; Irkutsk; 2024.
5. Semenov AF. Experimental Determination of Heat Losses of a Vertical Container Greenhouse. In: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference; Krasnoyarsk; 2025.
6. Semenov A.F. Modelling energy-Saving Cultivation Regimes for Vegetables in Greenhouses. Thesis for the Degree of Candidate of Technical Sciences. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University; 2011.
7. Cheremnykh S.V. The Method of Calculating the Burning Characteristics of a Multilayer Enclosing Structure. Vestnik of Tver State Technical University. Series Building. Electrical Engineering and Chemical Technology. 2022;(2):30-39.
8. Kondrateva NP, Vladynkin IR, Loginov VV, et al. Mathematical Model of the Temperature Field in a Greenhouse. Innovatsii v sel'skom khozyaystve. 2015;5(15):165-169.
9. Matozimov BS, Kutuev MD, Supibeckova AK, et al. Computer Analysis of Basic Problems of Building Thermodynamics. Science and Innovative Technologies. 2016.
10. Pendzhiev A.M. Mathematical Model of Heat Engineering Calculations of the Microclimate in Solar Hot-House Deep of Type. Alternative Energy And Ecology. 2010;8(88):48-52.
11. Popov M.Yu. Transient Mathematical Model of the Heat Balance of an Autonomous Winter Greenhouse. Vestnik NGIEY. 2025;(3):59-70.
12. Semenov V.G., Krushel E.G. Mathematical Model of a Microclimate of a Greenhouse. Izvestia Volgograd State Technical University. 2009; 6(54):32-35.

Информация об авторах:

Семенов Александр Федорович

кандидат технических наук, доцент ИИСиЭ Красноярский ГАУ, AuthorID: 708698, ORCID 0009-0000-5933-8258.

Information about the authors:

Semenov Alexander Fedorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Institute of Engineering Systems and Power Engineering of Krasnoyarsk State Agrarian University, Author ID: 708698, ORCID: 0009-0000-5933-8258

Статья поступила в редакцию 11.09.2025; одобрена после рецензирования 01.10.2025; принята к публикации 14.10.2025.

The article was submitted 11.09.2025; approved after reviewing 01.10.2025; accepted for publication 14.10.2025.

Рецензент – Медведев Д.М., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Medvedev D.M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.