

П. Н. Кузнецов<sup>1, 2</sup>В. П. Евстигнеев<sup>2</sup>Д. Ю. Котельников<sup>1, 2</sup> ✉Д. Ю. Воронин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарах» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Ялта, Россия

<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

✉ DYKotelnikov@ya.ru

Поступила в редакцию: 11.07.2025

Одобрена после рецензирования: 11.10.2025

Принята к публикации: 26.10.2025

© Кузнецов П.Н., Евстигнеев В.П.,  
Котельников Д.Ю., Воронин Д.Ю.

# Разработка и валидация алгоритма коррекции температурных измерений в условиях интенсивной инсоляции

## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Точное измерение температуры воздуха является фундаментальной задачей микроклиматического мониторинга виноградников, поскольку этот параметр непосредственно влияет на фенологические процессы, развитие патогенов и формирование качественных характеристик винограда. Доступные метеорологические станции обладают существенным недостатком — значительными систематическими погрешностями при измерении температуры в условиях интенсивной инсоляции. Разработка методов минимизации этих погрешностей критически важна для развития технологий точного виноградарства.

**Методы.** Исследование основано на теоретическом анализе и экспериментальной валидации теплофизических процессов в радиационных экранах. Разработан специализированный измерительный стенд с метеорологическими комплексами: вентилируемым экраном с фотоэлектрическим питанием и невентилируемым экраном, оснащенными датчиками скорости ветра и солнечной радиации. Предложена оригинальная физическая модель теплового баланса, учитывающая конвективный теплообмен, радиационное воздействие и геометрические характеристики защитных устройств. Разработан адаптивный итерационный алгоритм для вычисления температурных поправок в реальном времени на микроконтроллерных системах с механизмами обработки сингулярных состояний и обеспечением устойчивой конвергенции.

**Результаты.** Экспериментально подтверждено, что невентилируемые экраны демонстрируют систематические погрешности до 3 °C при высокой инсоляции. Вентилируемые экраны снижают максимальные отклонения до 1 °C, но требуют регулярного обслуживания. Разработанный алгоритм математической коррекции превосходит оба альтернативных решения: максимальные отклонения не превышают 0,6 °C, средние отклонения составляют 0,2 °C, нормализованная среднеквадратическая ошибка составляет 3,5%, критерий Клинга — Гупты достигает 0,993. Предложенное решение обеспечивает оптимальный баланс точности, экономичности и надежности для создания доступных плотных сетей микроклиматического мониторинга виноградников.

**Ключевые слова:** температура воздуха, погрешность радиационного экрана, корректировка измерений, солнечная радиация, мониторинг в реальном времени, виноградарство

**Для цитирования:** Кузнецов П.Н., Евстигнеев В.П., Котельников Д.Ю., Воронин Д.Ю. Разработка и валидация алгоритма коррекции температурных измерений в условиях интенсивной инсоляции. *Аграрная наука*. 2025; 400(11): 144–158.  
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-144-158>

# Development and validation of a temperature measurement correction algorithm under intensive solar radiation conditions

## ABSTRACT

**Relevance.** Accurate air temperature measurement is a fundamental task in vineyard microclimate monitoring, as this parameter directly affects phenological processes, pathogen development, and the formation of grape quality characteristics. Available meteorological stations possess a significant limitation — substantial systematic errors when measuring temperature under conditions of intense solar radiation. The development of methods to minimize these errors is critically important for advancing precision viticulture technologies.

**Methods.** The study is based on theoretical analysis and experimental validation of thermophysical processes in radiation shields. A specialized measurement setup was developed with meteorological systems: a ventilated shield with photovoltaic power supply and a non-ventilated shield, equipped with wind speed and solar radiation sensors. An original physical model of heat balance was proposed, accounting for convective heat exchange, radiative effects, and geometric characteristics of protective devices. An adaptive iterative algorithm was developed for real-time temperature correction calculations on microcontroller systems with mechanisms for handling singular states and ensuring stable convergence.

**Results.** It was experimentally confirmed that non-ventilated shields demonstrate systematic errors up to 3 °C under high solar radiation. Ventilated shields reduce maximum deviations to 1 °C but require regular maintenance. The developed mathematical correction algorithm outperforms both alternative solutions: maximum deviations do not exceed 0.6 °C, mean deviations are 0.2 °C, normalized root-mean-square error is 3.5%, and the Kling — Gupta criterion reaches 0.993. The proposed solution provides an optimal balance of accuracy, cost-effectiveness, and reliability for creating affordable dense networks for vineyard microclimate monitoring.

**Key words:** air temperature, radiation screen error, measurement correction, solar radiation, real-time monitoring, viticulture

**For citation:** Kuznetsov P.N., Evstigneev V.P., Kotelnikov D.Yu., Voronin D.Yu. Development and validation of a temperature measurement correction algorithm under intensive solar radiation conditions. *Agrarian science*. 2025; 400(11): 144–158 (in Russian).  
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-144-158>

Pavel N. Kuznetsov<sup>1, 2</sup>Vladislav P. Evstigneev<sup>2</sup>Dmitry Yu. Kotelnikov<sup>1, 2</sup> ✉Dmitry Yu. Voronin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of the Nationale Research Center “Kurchatov Institute”, Yalta, Russia

<sup>2</sup>Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

✉ DYKotelnikov@ya.ru

Received by the editorial office: 11.07.2025

Accepted in revised: 11.10.2025

Accepted for publication: 26.10.2025

© Kuznetsov P.N., Evstigneev V.P.,  
Kotelnikov D.Yu., Voronin D.Yu.

## Введение/Introduction

Виноградарство характеризуется высокой зависимостью качества и количества урожая от метеорологических условий [1]. Для получения высоких урожаев необходим контроль температуры, влажности воздуха и почвы, количества осадков, интенсивности солнечной радиации и влажности листьев [2, 3]. Автоматические метеостанции являются эффективным инструментом мониторинга агроклиматических условий [4, 5], обеспечивая точные данные о микроклиматическом состоянии виноградника для прогнозирования.

На основе метеорологических данных виноградары планируют агротехнические мероприятия [6], оптимизируют режимы полива и внесения удобрений [7, 8], предотвращают развитие болезней и вредителей [9–13]. Мониторинг позволяет определить сумму активных температур в течение вегетационного периода, оценить содержание сахара в урожае и прогнозировать оптимальные сроки сбора [14, 15]. Применение метеостанций повышает точность агрономических мероприятий, снижает риски потерь и способствует выращиванию высококачественного винограда [16, 17].

Существующие сети мониторинга, основанные на дорогостоящих профессиональных метеостанциях, не обеспечивают необходимую пространственную детализацию данных для эффективного управления отдельными участками виноградника. Решением данной проблемы является разработка распределенных сетей автономных метеосистем на базе технологий интернета вещей (IoT), обеспечивающих локальный мониторинг микроклиматических условий непосредственно в зонах выращивания. Такие системы характеризуются значительно более низкой стоимостью по сравнению с профессиональным оборудованием, простотой развертывания и возможностью создания плотных сетей датчиков для детального картирования микроклиматических условий виноградника [18, 19].

Однако практическая реализация IoT-систем мониторинга сталкивается с фундаментальной проблемой обеспечения достаточной точности измерений при использовании недорогих датчиков. Неточные данные не только снижают эффективность агротехнических решений, но и могут привести к ошибочным выводам о состоянии виноградника. Наиболее критичным является измерение температуры воздуха — ключевого параметра для большинства агрометеорологических расчетов, точность которого существенно снижается под воздействием солнечной радиации, вызывающей дополнительный нагрев радиационного экрана [20, 21].

Экспериментальные исследования подтверждают существенную величину радиационных

погрешностей: бюджетные радиационные экраны характеризуются отклонениями до нескольких градусов при воздействии интенсивной солнечной радиации [22–25], в то время как дорогостоящие коммерческие устройства демонстрируют лишь частичную компенсацию радиационных ошибок [23, 26].

Обзор литературы показал два основных направления повышения точности — использование вентилируемых радиационных экранов и корректировку измерений на основе данных о солнечной радиации и других факторах [22, 23, 27–30].

Вентилируемые экраны создают интенсивный воздушный поток (2–5 м/с) вокруг датчика, выравнивая температуру внутри экрана с температурой окружающего воздуха и снижая влияние собственного инфракрасного излучения датчика [28, 31]. Это техническое решение делает работу датчика практически независимой от погодных условий.

Корректировка измерений основана на математических моделях теплового баланса, учитывающих конструктивные особенности экрана. Модели позволяют рассчитать величину отклонения из-за радиационного теплообмена на основе измеренных значений солнечной радиации и скорости ветра, обеспечивая коррекцию показаний датчика [23, 26, 32–36].

Цель настоящего исследования — комплексная оценка эффективности методов повышения точности измерений температуры воздуха при использовании доступных метеорологических устройств для создания пространственно-распределенных сетей микроклиматического мониторинга виноградников.

Исследование включало сравнительный анализ погрешностей измерения температуры воздуха метеорологическими комплексами с вентилируемыми и невентилируемыми радиационными экранами, а также экспериментальную валидацию разработанного адаптивного алгоритма математической коррекции показаний на основе учета сопутствующих метеорологических параметров для определения оптимального подхода к созданию экономически эффективных систем мониторинга.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Экспериментальная база и условия проведения исследований

Экспериментальные исследования проводили на территории метеорологической станции (МГ «Севастополь»), расположенной на мысе Павловский (44°37'01.0" с. ш., 33°31'56.3" в. д.). Выбор данной локации обусловлен наличием стандартизированной метеорологической площадки, оборудованной в соответствии с требованиями Всемирной метеорологической организации<sup>1</sup>, что обеспечивает репрезентативность получаемых данных.

<sup>1</sup> World Meteorological Organization Provisional 2023 edition of the Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8) / World Meteorological Organization. 2023.

Измерения выполняли в летний период — с 1 июня по 31 августа 2023 года, характеризующийся максимальными значениями солнечной радиации (до 1200 Вт/м<sup>2</sup>) и высокими температурами воздуха (до 35 °С), что позволяет охватить весь спектр метеорологических условий, критичных для оценки погрешностей радиационных экранов.

Метод принудительной вентиляции радиационного экрана

Первый исследуемый метод основан на применении принудительной вентиляции радиационного экрана с целью минимизации влияния солнечной радиации на точность измерения температуры воздуха. Принудительная вентиляция обеспечивается установкой электрического вентилятора в конструкции радиационного экрана, что создает интенсивный воздушный поток через датчик температуры со скоростью 2–5 м/с [28, 31]. Данный подход позволяет значительно снизить радиационную погрешность, особенно в условиях интенсивной солнечной радиации и слабого естественного ветра, поскольку создаваемый воздушный поток выравнивает температуру внутри защитного экрана с температурой окружающего воздуха.

В конструкции исследуемого вентилируемого радиационного экрана использовали осевой вентилятор диаметром 50 мм с номинальной мощностью 1 Вт. Отличительная особенность реализованного технического решения — питание вентилятора от автономного фотоэлектрического преобразователя мощностью 5 Вт, что обеспечивало адаптивную регулировку интенсивности воздушного потока в зависимости от уровня солнечной радиации.

При максимальной инсоляции скорость воздушного потока внутри экрана достигала 3–4 м/с, что соответствует рекомендациям для аспирационных систем. Такая конфигурация имеет значительные преимущества с точки зрения автономности и способности автоматически адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды, поскольку интенсивность циркуляции воздуха внутри радиационного экрана напрямую зависит от электрической мощности, генерируемой фотоэлектрическими преобразователями, которая непосредственно связана с интенсивностью солнечной радиации.

#### Метод математической коррекции температурных измерений

Второй исследуемый метод основан на применении математической коррекции показаний невентилируемого радиационного экрана посредством вычисления температурной поправки на основе уравнения теплового баланса. Данный подход предполагает использование физической модели, учитывающей интенсивность солнечной радиации, скорость ветрового потока и геометрические характеристики защитного устройства для компенсации систематических ошибок в режиме реального времени [23, 26, 29, 32, 33].

Теоретическая основа метода коррекции базируется на фундаментальном принципе теплового баланса, согласно которому в стационарном состоянии количество тепла, поступающего в радиационный экран, равно количеству тепла, отводимого от радиационного экрана, что математически выражается уравнением:

$$Q_{in} - Q_{out} = 0, \quad (1)$$

где:  $Q_{in}$  — количество тепла, поступающего в радиационный экран, Дж;  $Q_{out}$  — количество тепла, отводимого от радиационного экрана, Дж.

Количество тепла, поступающего в радиационный экран, определяется интенсивностью солнечной радиации, альбедо поверхности и площадью экспозиции согласно уравнению:

$$Q_{in} = (1-A) \cdot IS \cdot F_1 \cdot \tau, \quad (2)$$

где:  $A$  — альбедо поверхности;  $IS$  — интенсивность солнечной радиации, Вт·м<sup>-2</sup>;  $F_1$  — площадь поверхности, подверженной солнечной радиации, м<sup>2</sup>;  $\tau$  — время, с.

Тепло, отводимое от радиационного экрана, осуществляется посредством конвективного теплообмена и других механизмов теплопередачи. Для упрощения математической модели основное внимание было уделено конвективному теплообмену и теплопроводности как доминирующим механизмам отвода тепла.

Радиационный теплообмен и другие, менее значимые механизмы не моделировались напрямую, вместо этого их совокупное влияние было аппроксимировано с использованием эмпирического коэффициента нелинейности в модифицированном уравнении Ньютона — Рихмана:

$$Q_{out} = (\Delta T \cdot h \cdot F_2 + \varepsilon \cdot F_3) \cdot \tau, \quad (3)$$

где:  $\Delta T$  — отклонение температуры датчика, К;  $h$  — коэффициент теплопередачи от радиационного экрана к окружающей среде, Вт·м<sup>-2</sup>·К<sup>-1</sup>;  $F_2$  — площадь поверхности, обдуваемая ветром, м<sup>2</sup>;  $\varepsilon$  — эмпирический коэффициент нелинейности теплопередачи, Вт·м<sup>-2</sup>;  $F_3$  — общая площадь поверхности, м<sup>2</sup>.

Объединяя уравнения (1), (2) и (3), получаем формулу для отклонения температуры  $\Delta T$ :

$$\Delta T = \frac{(1-A) \cdot IS \cdot F_1 - \varepsilon \cdot F_3}{h \cdot F_2}. \quad (4)$$

Полный коэффициент теплоотдачи объединяет составляющие вынужденной и свободной конвекции:

$$h = h_w + h_f, \quad (5)$$

где:  $h_w$  — коэффициент теплопередачи при вынужденной конвекции, Вт·м<sup>-2</sup>·К<sup>-1</sup>;  $h_f$  — коэффициент теплопередачи при свободной конвекции, Вт·м<sup>-2</sup>·К<sup>-1</sup>.

Эмпирический коэффициент нелинейности рассчитывается из соответствующего выражения:

$$\varepsilon = k \cdot \left( \frac{IS}{IS_{STC}} \right)^{1.2}, \quad (6)$$

где:  $k$  — эмпирический коэффициент тепловой коррекции, Вт·м<sup>2</sup>;  $IS_{STC}$  — интенсивность солнечной радиации при стандартных условиях, 1000 Вт·м<sup>2</sup> [23].

Коэффициенты теплопередачи для процессов вынужденной и свободной конвекции были выведены на основе классических безразмерных критериев подобия чисел Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля и Грасгофа в соответствии с фундаментальными положениями теории теплообмена [37].

Подстановка полученных выражений для коэффициентов вынужденной и свободной конвекции в формулу для температурного отклонения (4) позволяет представить результирующую величину  $\Delta T$  в виде функциональной зависимости от скорости ветра  $w$  и интенсивности солнечной радиации  $IS$ , что выражается комплексным аналитическим соотношением:

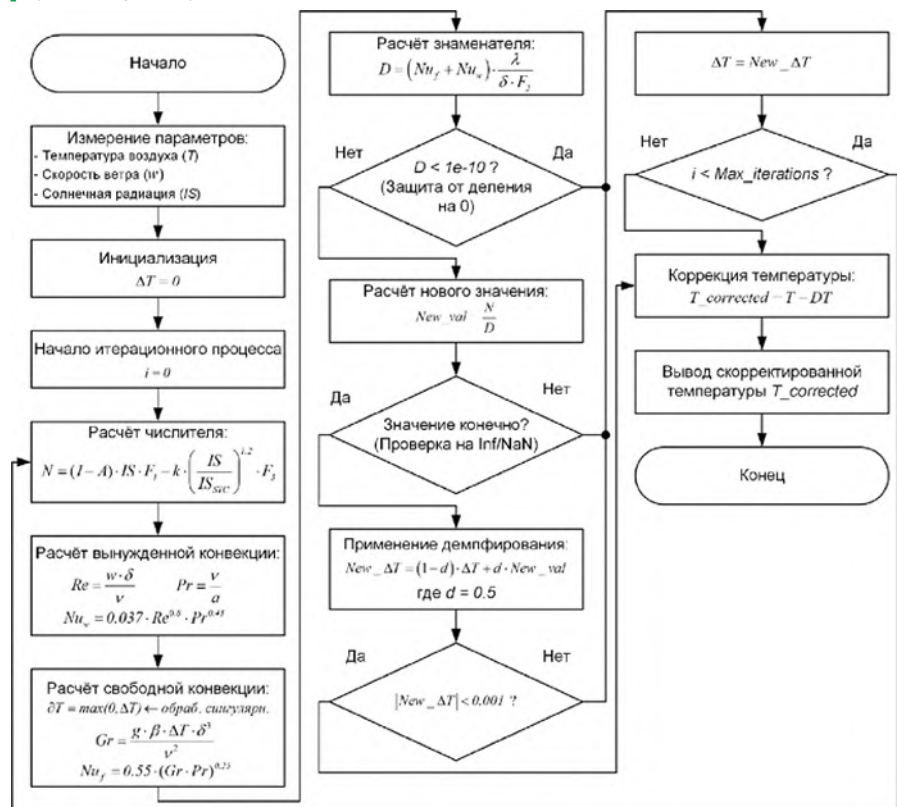
$$\Delta T(w, IS) = \frac{(1 - A) \cdot IS \cdot F_1 - k \cdot \left( \frac{IS}{IS_{STC}} \right)^{1.2} \cdot F_3}{((0.037 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.43} + 0.55 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0.25}) \cdot \frac{\lambda}{\delta}) \cdot F_2}, \quad (7)$$

где:  $Re$  — число Рейнольдса, характеризующее соотношение инерционных и вязкостных сил в потоке, определяемое по уравнению;  $Pr$  — число Прандтля, отражающее соотношение между переносом импульса и теплопереносом в среде;  $Gr$  — безразмерное число Грасгофа, характеризующее соотношение архимедовых подъемных сил к силам вязкостного трения в условиях свободной конвекции;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности воздуха как теплопередающей среды, Вт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $\delta$  — характеристический геометрический параметр, соответствующий внешнему диаметру радиационного экрана, м;  $w$  — скорость ветра, м·с<sup>-1</sup>.

Подстановка всех теплофизических параметров воздуха и критериальных соотношений позволяет получить окончательное выражение для температурного отклонения в виде явной функции

**Рис. 1.** Блок-схема алгоритма итерационного решения уравнения теплового баланса для коррекции температурных измерений в микроконтроллерной системе метеостанции (авторский рисунок)

**Fig. 1.** Block diagram of the iterative algorithm for solving the thermal balance equation for temperature measurement correction in a microcontroller-based weather station system (author's picture)



$\Delta T(w, IS)$  от скорости ветра и интенсивности солнечной радиации:

$$\Delta T(w, IS) = \frac{\delta}{\lambda \cdot F_2} \cdot \frac{(1 - A) \cdot IS \cdot F_1 - k \cdot \left( \frac{IS}{IS_{STC}} \right)^{1.2} \cdot F_3}{0.037 \cdot \left( \frac{w \cdot \delta}{\nu} \right)^{0.8} \cdot \left( \frac{\nu}{\alpha} \right)^{0.43} + 0.55 \cdot \left( \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot \delta^3}{\nu^2} \cdot \frac{\nu}{\alpha} \right)^{0.25}}, \quad (8)$$

где:  $\alpha$  — коэффициент температуропроводности воздуха, Вт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $g$  — ускорение свободного падения, м·с<sup>-2</sup>;  $\beta$  — коэффициент объемного расширения, К<sup>-1</sup>;  $\nu$  — коэффициент кинематической вязкости воздуха, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>.

**Алгоритм решения уравнения теплового баланса**

Выведенное трансцендентное уравнение (8) не допускает прямого аналитического решения относительно величины  $\Delta T$ . Для численного решения данного уравнения был применен итерационный метод с фиксированной точкой в сочетании с адаптивной демпфирующей процедурой, обеспечивающей устойчивую сходимость вычислительного процесса. Детальная блок-схема разработанного алгоритма представлена на рисунке 1, где наглядно отображены все этапы вычислительного процесса, включая механизмы обработки особых случаев и конвергенции итераций.

Представленная блок-схема алгоритма наглядно демонстрирует многоуровневую структуру вычислительного процесса, реализованного в микроконтроллерной системе метеостанции. Алгоритм начинается с инициализации переменных и сбора входных данных: температуры



**Рис. 2.** Структурная схема экспериментального стенда. Рисунок автора

**Fig. 2.** Structural diagram of the experimental stand. The author's drawing



окружающего воздуха, скорости ветра и интенсивности солнечной радиации. Центральную часть алгоритма составляет итерационный цикл решения трансцендентного уравнения, включающий последовательное вычисление компонентов числителя и знаменателя согласно физической модели теплообмена.

Особое внимание в схеме уделено механизмам обработки сингулярных состояний: предотвращение извлечения корня из отрицательного значения при расчете числа Грасгофа путем применения ограничивающей функции максимума; защита от деления на 0 при вырождении знаменателя через проверку его абсолютного значения на близость к 0; контроль конечности результата для исключения распространения бесконечных значений. Процесс конвергенции обеспечивается внедрением демпфирующего коэффициента 0,5, который позволяет сглаживать резкие изменения значений между итерациями, предотвращая численные осцилляции.

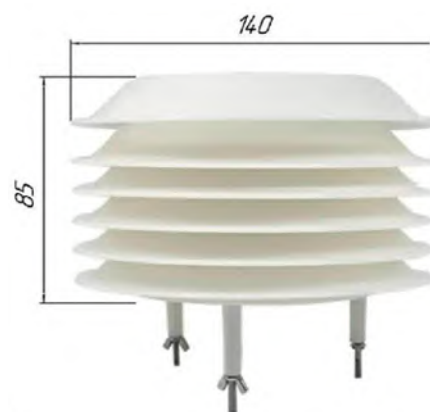
#### Экспериментальный стенд и измерительное оборудование

Для решения поставленных задач был разработан специализированный экспериментальный стенд, структурная схема которого представлена на рисунке 2.

Стенд включал три независимых метеорологических комплекса: исследуемый комплекс с естественной вентиляцией, исследуемый комплекс с принудительной вентиляцией и опорный метеокomплекс на базе стандартного оборудования метеостанции. Все комплексы были подключены к единому веб-серверу для синхронизированного сбора данных с последующей статистической обработкой результатов параллельных измерений. К комплексу с естественной вентиляцией дополнительно был подключен измерительный модуль «Сокол-М1», обеспечивающий регистрацию

**Рис. 3.** Внешний вид радиационного экрана (фотография из открытых источников сети Интернет)

**Fig. 3.** External view of the radiation shield (photo from open Internet sources)



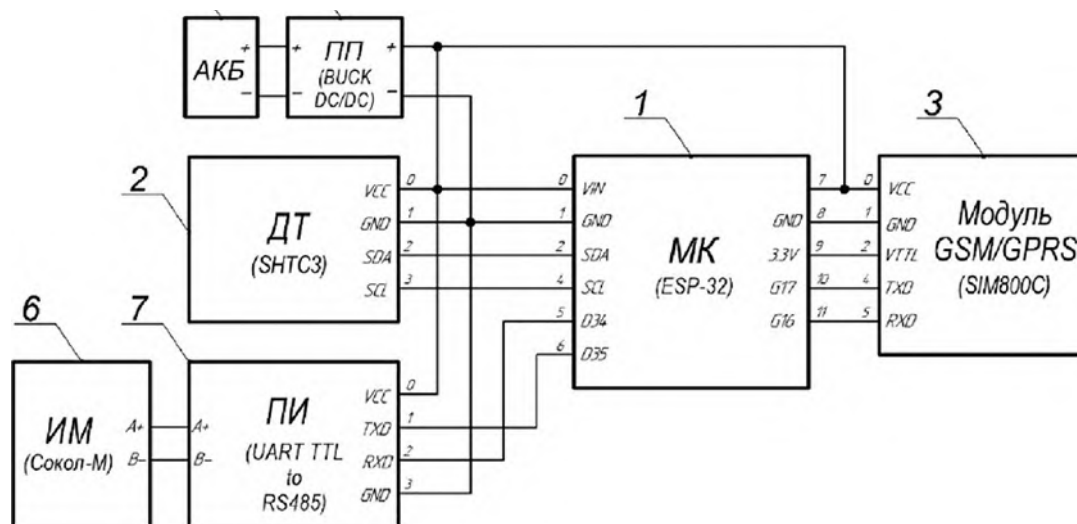
скорости ветра и интенсивности солнечной радиации для реализации алгоритма коррекции.

Исследуемый метеорологический комплекс с принудительной вентиляцией представлял собой автоматизированную измерительную систему, основанную на микроконтроллере ESP32 (WROOM-32) с интегрированным модулем беспроводной передачи данных. Конструктивно комплекс включал радиационный экран из АБС-пластика с внешним диаметром пластин 140 мм и внутренним диаметром 62 мм, обеспечивающий защиту датчика от прямого воздействия солнечной радиации (рис. 3).

Отличительной особенностью данной конфигурации являлось наличие системы принудительной вентиляции, реализованной на основе осевого вентилятора диаметром 50 мм с номинальной мощностью 1 Вт. Питание вентилятора осуществлялось от автономного фотоэлектрического преобразователя мощностью 5 Вт, что обеспечивало адаптивную регулировку интенсивности воздушного потока в зависимости от уровня солнечной

**Рис. 4.** Функциональная схема метеорологического комплекса (авторский рисунок): 1 — микроконтроллер ESP32 (WROOM-32); 2 — модуль датчика температуры SHTC3; 3 — модуль GSM/GPRS SIM800C; 4 — литий-ионный аккумулятор; 5 — понижающий преобразователь DC/DC; 6 — измерительный модуль «Сокол-М»; 7 — преобразователь интерфейса UART TTL — RS485

**Fig. 4.** Functional diagram of the meteorological complex (author's picture): 1 — ESP32 microcontroller (WROOM-32); 2 — SHTC3 temperature sensor module; 3 — GSM/GPRS SIM800C module; 4 — lithium-ion battery; 5 — step-down DC/DC converter; 6 — “Sokol-M” measurement module; 7 — UART TTL — RS485 interface converter



радиации. При максимальной инсоляции скорость воздушного потока внутри экрана достигала 3–4 м/с, что соответствует рекомендациям для аспирационных систем [28, 31].

Функциональная схема метеорологического комплекса представлена на рисунке 4. В качестве первичного преобразователя температуры и влажности использовали цифровой датчик SHTC3 с характеристиками, приведенными в таблице 1.

Выбор данного датчика обусловлен его высокой точностью ( $\pm 0,2$  °C), широким диапазоном измерений (от -40 до +125 °C) и низким энергопотреблением, что критично для автономных систем. Передача данных на удаленный сервер осуществлялась посредством GSM/GPRS модуля SIM800C через мобильные сети, обеспечивая надежную связь в условиях удаленного размещения измерительных точек. Питание системы реализовано от литий-ионного аккумулятора емкостью 3000 мА·ч с подзарядкой от солнечной панели, что гарантирует непрерывную работу комплекса в течение всего периода исследования.

Исследуемый метеорологический комплекс с естественной вентиляцией имел идентичную аппаратную конфигурацию, за исключением отсутствия системы принудительной циркуляции воздуха. Данный комплекс использовал аналогичный радиационный экран из АБС-пластика с теми же геометрическими параметрами, что обеспечивало корректность сравнительного анализа. Конвективный теплообмен в данной конфигурации осуществлялся исключительно за счет естественной циркуляции воздуха через вентиляционные отверстия между пластинами экрана. Дополнительно к

**Таблица 1. Технические характеристики модуля датчика температуры и влажности SHTC3**  
**Table 1. Technical specifications of the SHTC3 temperature and humidity sensor module**

| Параметр                       | Значение   |
|--------------------------------|------------|
| Рабочее напряжение             | 3,3–5,5 В  |
| Тип подключения                | I2C        |
| Диапазон измерения влажности   | 0–100%     |
| Точность измерения влажности   | ~ 2%       |
| Диапазон измерения температуры | -40–125 °C |
| Точность измерения температуры | ~ 0,2 °C   |

базовой конфигурации был подключен измерительный модуль «Сокол-М1»<sup>2</sup>, включающий чашечный анемометр для регистрации скорости ветра и пиранометр PYR20 для измерения интенсивности солнечной радиации. Данные параметры являлись входными для алгоритма математической коррекции температурных показаний.

В качестве опорного метеорологического комплекса использовали стандартное оборудование метеостанции МГ «Севастополь», функционирующее в соответствии с программой наблюдений Росгидромета. Эталонные измерения температуры воздуха выполняли психрометрическим методом с использованием аспирационного психрометра Ассмана, размещенного в стандартной метеорологической будке на высоте 2 м над поверхностью земли. Данная конфигурация полностью соответствует требованиям Всемирной метеорологической организации к размещению стандартных термометров на метеорологической площадке. Психрометрическая будка обеспечивала естественную вентиляцию

<sup>2</sup> Официальный сайт производителя метеостанции «Сокол-М1» с техническими характеристиками.  
<https://sokolmeteo.ru/weather-station/>

и защиту приборов от прямого солнечного излучения, осадков и излучения земной поверхности. Показания эталонного термометра регистрировались автоматизированной системой с дискретностью 1 час, что соответствовало стандартным срокам метеорологических наблюдений. Общий вид экспериментального стенда на метеорологической площадке представлен на рисунке 5.

#### Методы статистической обработки данных

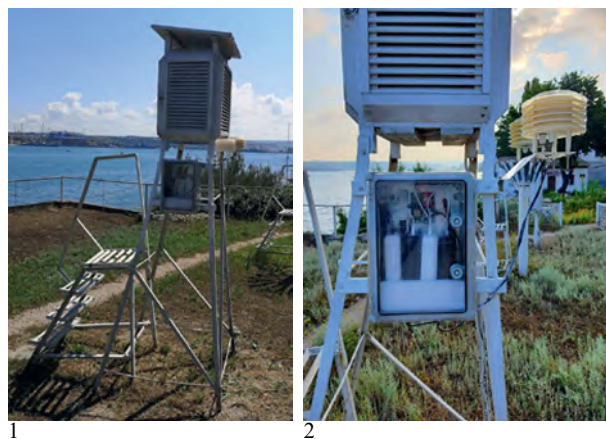
Статистическую обработку результатов измерений осуществляли в несколько этапов для обеспечения достоверности получаемых данных. На первом этапе выполняли фильтрацию первичных измерений для исключения случайных выбросов, обусловленных кратковременными помехами или сбоями в работе датчиков. Алгоритм фильтрации основывался на классическом правиле трех сигм [38], согласно которому значения, отклоняющиеся от среднего более чем на три стандартных отклонения, считаются статистическими выбросами.

Для минимизации влияния ошибки выборки перед фильтрацией накапливалось не менее 50 последовательных измерений каждого параметра. Исследуемые метеорологические комплексы регистрировали данные с высокой частотой дискретизации (одно измерение — каждые 15–20 сек.), что позволяло получать статистически значимые выборки за короткие временные интервалы. После первичной фильтрации данные усреднялись за периоды  $\pm 1$  мин. относительно каждого целого часа для получения синхронизированных рядов часовых значений, сопоставимых с эталонными измерениями.

Расчет выборочного стандартного отклонения выполняли по стандартной формуле с поправкой Бесселя [39], обеспечивающей несмещенную оценку дисперсии генеральной совокупности. На втором этапе статистической обработки выполнялся расчет комплекса метрик для количественной оценки отклонений показаний исследуемых датчиков от эталонных значений. Использовался набор из 10 специализированных статистических показателей, включающий среднюю ошибку (ME), среднюю абсолютную ошибку (MAE), среднеквадратическую ошибку (RMSE), нормализованную среднеквадратическую ошибку (NRMSE), систематическое отклонение (PBIAS), отношение стандартных отклонений (rSD), критерий эффективности Нэша — Сатклиффа (NSE) и его модифицированную форму (mNSE), коэффициент персистентности (sr) [40] и критерий эффективности Клингга — Гупты (KGE) [41]. Данный набор метрик обеспечивал всестороннюю оценку точности измерений, учитывая как систематические, так и случайные составляющие погрешности.

**Рис. 5.** Фотография экспериментального стенда на метеорологической станции МГ «Севастополь»: 1 — общий вид экспериментального стенда с тремя метеорологическими комплексами; 2 — исследуемые метеорологические комплексы с вентилируемым и невентилируемым радиационными экранами. Фото авторов

**Fig. 5.** Photograph of the experimental stand at the MG Sevastopol meteorological station: 1 — general view of the experimental stand with three meteorological complexes; 2 — meteorological complexes under study with ventilated and non-ventilated radiation screens. Photos of the authors



#### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Комплексное исследование эффективности методов повышения точности измерений температуры воздуха в условиях интенсивной инсоляции было построено на принципе последовательной валидации теоретических предположений экспериментальными данными. Фундаментальной основой исследования служила разработанная физическая модель теплового баланса радиационного экрана, которая учитывала не только интенсивность солнечной радиации и скорость ветрового потока, но и геометрические характеристики защитного устройства. Эта комплексность подхода принципиально отличает предложенное решение от упрощенных методов коррекции, описанных в работах Hubbard и Lin [23], которые не обеспечивают адекватного учета конструктивных особенностей радиационных экранов.

Для практической реализации теоретической модели потребовалось определение специфических численных коэффициентов исследуемого радиационного экрана.

Представленные параметры включали альбедо поверхности 0,8, что соответствует отражательной способности белого АБС-пластика. Каждый из этих параметров был получен либо путем прямых геометрических измерений конструкции радиационного экрана, либо посредством калибровки

**Таблица 2. Численные коэффициенты исследуемого радиационного экрана**

**Table 2. Numerical coefficients of the investigated radiation shield**

| A   | $F_1, \text{ м}^2$ | $F_2, \text{ м}^2$ | $F_3, \text{ м}^2$ | $\delta, \text{ м}$ | $k, \text{ Вт} \cdot \text{ м}^{-2}$ |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 0,8 | 0,015              | 0,09               | 0,12               | 0,14                | 17,2                                 |



по экспериментальным данным, что обеспечивало высокую степень соответствия модели реальным физическим процессам теплообмена.

Результаты численного моделирования демонстрируют сложную нелинейную зависимость температурных отклонений от исследуемых параметров.

Анализ трехмерной поверхности на рисунке 6 позволяет понять физическую природу наблюдаемых закономерностей. При интенсивности солнечной радиации  $1000 \text{ Вт/м}^2$  и отсутствии ветрового потока температурное отклонение достигает критического значения ( $2,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ), что объясняется доминированием радиационного нагрева над конвективным охлаждением. Увеличение скорости ветра до  $5 \text{ м/с}$  приводит к резкому снижению отклонения (до  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) благодаря интенсификации конвективного теплообмена. Эта закономерность подтверждает правильность теоретических предпосылок модели и согласуется с фундаментальными принципами теории теплообмена, изложенными в [37].

Разработанный итерационный алгоритм решения трансцендентного уравнения (15) был интегрирован в программно-аппаратный комплекс микроконтроллерной системы ESP32, что обеспечило возможность динамической температурной коррекции в режиме реального времени. Алгоритм продемонстрировал устойчивую сходимость при всех исследованных метеорологических условиях: количество итераций не превышало 15 циклов для достижения заданной точности  $0,001 \text{ }^\circ\text{C}$ , а время вычисления одной коррекции составляло менее 50 миллисекунд, что позволяет выполнять расчеты синхронно с частотой измерений датчика.

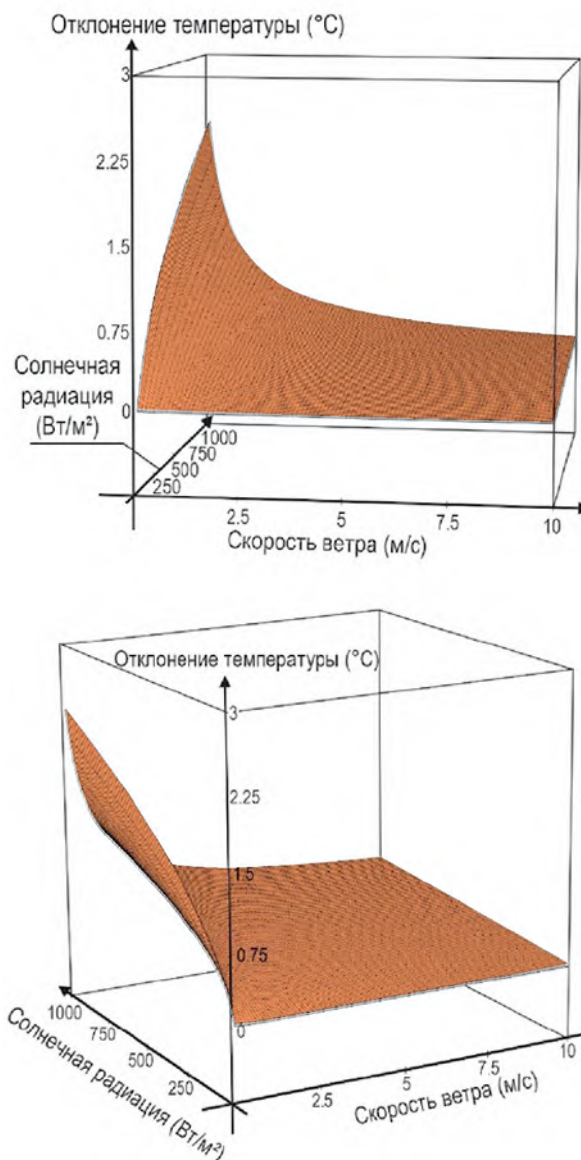
Экспериментальные измерения, проводившиеся на метеорологической станции МГ «Севастополь», позволили накопить представительный массив из более чем 6000 синхронизированных измерений температуры воздуха. Диапазон зарегистрированных условий охватывал интенсивность солнечной радиации от 0 до  $1200 \text{ Вт/м}^2$  и скорость ветра от  $0,1$  до  $8,5 \text{ м/с}$ , что включало весь спектр характерных для летнего периода ситуаций, критичных для оценки эффективности методов коррекции радиационных погрешностей.

Сравнительный анализ эффективности трех исследуемых подходов основывался на параллельной регистрации температурных показаний независимыми метеорологическими комплексами с вентилируемым радиационным экраном, невентилируемым экраном и невентилируемым экраном с математической коррекцией. Функции плотности вероятности отклонений относительно эталонных данных демонстрируют принципиальные различия в характере распределений:

Анализ функций плотности вероятности на рисунке 7 позволяет понять фундаментальные

**Рис. 6.** Зависимость отклонения температуры воздуха от интенсивности солнечной радиации и скорости ветрового потока для исследуемого радиационного экрана

**Fig. 6.** Dependence of air temperature deviation on solar radiation intensity and wind flow velocity for the investigated radiation shield



различия в поведении трех типов радиационных экранов. Для невентилируемого радиационного экрана характерна выраженная асимметрия распределения с заметным расширением правой части и смещением моды от нулевого значения в положительную сторону. Эта особенность указывает на систематическую природу погрешности, когда датчик стабильно завышает показания температуры вследствие дополнительного нагрева от солнечной радиации. Максимальные отклонения достигают  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ , что создает критические проблемы для точного микроклиматического мониторинга виноградников, поскольку такие погрешности могут привести к ошибочным агротехническим решениям.



Вентилируемый радиационный экран демонстрирует существенно более симметричное распределение отклонений с максимальными значениями до 1 °С, что подтверждает эффективность принудительной циркуляции воздуха для минимизации радиационных погрешностей. Однако наилучшие результаты показывает невентилируемый экран с математической коррекцией: распределение отклонений практически симметрично относительно 0, а максимальные погрешности не превышают 0,5–0,6 °С. Это достижение особенно значимо, поскольку демонстрирует возможность получения высокой точности измерений без использования механических компонентов (вентилятора), что критично для долговременного автономного мониторинга.

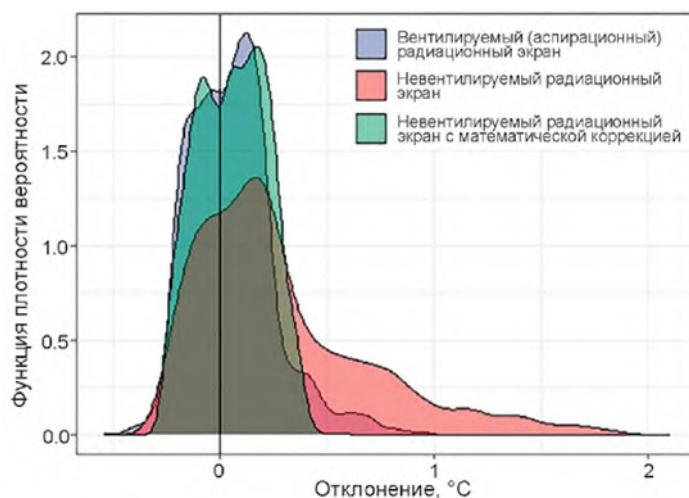
Детальный анализ временной динамики погрешностей представлен на тепловой карте почасовых отклонений, которая наглядно демонстрирует связь между интенсивностью солнечной радиации и величиной температурных погрешностей.

Тепловая карта четко показывает, что для невентилируемого радиационного экрана максимальные погрешности концентрируются в дневные часы — с 10 до 14, когда Солнце находится в зените и интенсивность прямой солнечной радиации достигает пиковых значений. Эта закономерность подтверждает доминирующую роль солнечной радиации в формировании систематических погрешностей и согласуется с результатами исследований [29], которые отмечали корреляцию между положением Солнца и величиной температурных отклонений. Применение математической коррекции эффективно устраняет эти характерные пики погрешностей, что визуально подтверждается практически полным отсутствием зон значительных отклонений на соответствующей части тепловой карты.

Количественная оценка эффективности различных подходов была выполнена с использованием комплекса из 10 специализированных статистических метрик, каждая из которых характеризует определенный аспект точности измерений. Выбор именно этого набора метрик обусловлен необходимостью всесторонней оценки как систематических, так и случайных составляющих погрешности, что критически важно для понимания природы отклонений и эффективности методов их коррекции.

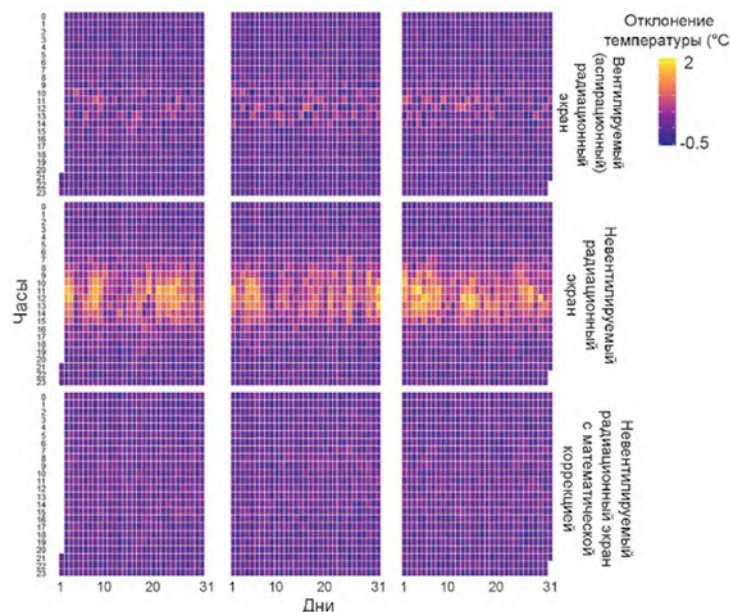
**Рис. 7.** Функция плотности вероятности отклонений температуры воздуха для вентилируемого, невентилируемого и скорректированного радиационных экранов относительно эталонных данных

**Fig. 7.** Probability density function of air temperature deviations for ventilated, non-ventilated, and corrected radiation shields relative to reference data



**Рис. 8.** Тепловая карта отклонений температуры воздуха для трех типов датчиков: вентилируемого, невентилируемого и скорректированного радиационных экранов относительно эталонных данных

**Fig. 8.** Heat map of air temperature deviations for three types of sensors: ventilated, non-ventilated, and corrected radiation shields relative to reference data



**Таблица 3. Метрики отклонений для различных устройств по отношению к эталонным данным**

**Table 3. Deviation metrics for various devices relative to reference data**

| №  | Метрика  | Вентилируе-<br>мый экран | Невентилиру-<br>емый экран | Скорректированный<br>невентилируемый<br>экран |
|----|----------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|
| 1  | ME       | 0,06                     | 0,29                       | 0,06                                          |
| 2  | MAE      | 0,16                     | 0,35                       | 0,14                                          |
| 3  | RMSE     | 0,21                     | 0,51                       | 0,17                                          |
| 4  | NRMSE, % | 4,2                      | 10,3                       | 3,5                                           |
| 5  | PBIAS, % | 0,2                      | 1,2                        | 0,2                                           |
| 6  | rSD      | 1,011                    | 1,057                      | 1,007                                         |
| 7  | NSE      | 0,998                    | 0,989                      | 0,999                                         |
| 8  | mNSE     | 0,962                    | 0,914                      | 0,965                                         |
| 9  | ср       | 0,976                    | 0,858                      | 0,984                                         |
| 10 | KGE      | 0,988                    | 0,942                      | 0,993                                         |

Анализ средней ошибки (ME) демонстрирует фундаментальное различие между подходами. Для вентилируемого экрана и скорректированного невентилируемого экрана значение составляет  $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что находится в пределах допустимой погрешности измерения температуры воздуха согласно требованиям Всемирной метеорологической организации<sup>1</sup>. Для невентилируемого экрана без коррекции этот показатель в пять раз выше ( $0,29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что указывает на наличие выраженного систематического завышения температурных показаний. Эта закономерность подтверждает выводы, полученные при анализе функций плотности вероятности, где мода распределения для невентилируемого экрана была смещена в положительную сторону.

Особое внимание заслуживает анализ нормализованной среднеквадратической ошибки (NRMSE), которая характеризует относительную величину погрешности по отношению к естественной вариабельности измеряемого параметра. Для невентилируемого экрана значение NRMSE превышает 10%, что считается неудовлетворительным результатом в метеорологической практике и обусловлено наличием экстремально больших отклонений при высокой инсоляции. Скорректированный невентилируемый экран показывает наилучший результат (3,5%), что свидетельствует об эффективном устранении аномальных выбросов посредством математической коррекции.

Многокомпонентный критерий Клинга — Гупты (KGE), разработанный специально для комплексной оценки качества моделей [40], демонстрирует превосходство скорректированного подхода (0,993) над всеми альтернативными решениями. Этот критерий учитывает три ключевые компоненты — корреляцию между измеренными и эталонными данными, смещение средних значений и отношение стандартных отклонений, что обеспечивает всестороннюю оценку точности измерений.

Визуальное подтверждение статистических выводов представлено на двумерных диаграммах рассеяния параллельных измерений. Диаграммы рассеяния наглядно демонстрируют качество соответствия измеренных значений эталонным данным. Для скорректированного невентилируемого экрана линия регрессии практически точно совпадает с биссектрисой 1:1 ( $R^2 = 0,999$ ), что указывает на отсутствие систематических отклонений и высокую линейность зависимости. Невентилируемый экран без коррекции показывает заметное отклонение регрессионной линии от идеальной зависимости ( $R^2 = 0,996$ ), что количественно отражает наличие систематической погрешности, особенно выраженной при высоких температурах.

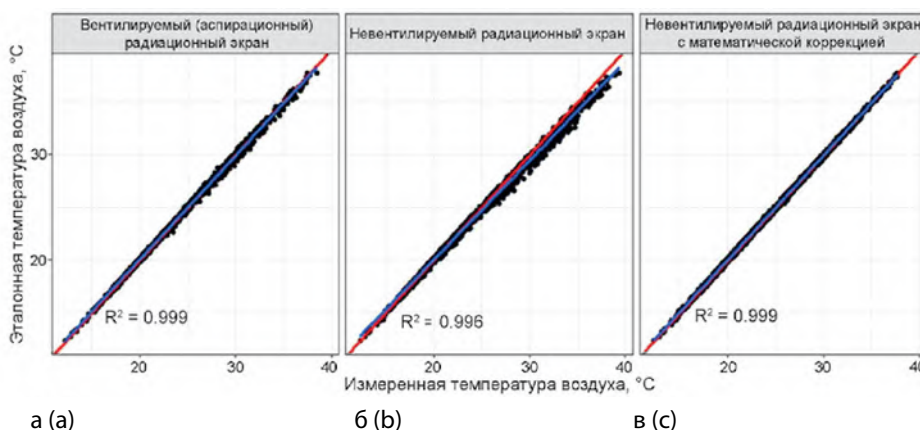
Совокупность представленных результатов убедительно демонстрирует, что разработанный алгоритм математической коррекции превосходит по всем статистическим показателям как не вентилируемые экраны без коррекции, так и технически более сложные вентилируемые системы, обеспечивая оптимальный баланс точности, экономичности и надежности для создания пространственно-распределенных сетей микроклиматического мониторинга виноградников.

Полученные экспериментальные данные позволяют провести углубленный анализ физических механизмов, определяющих эффективность различных подходов к минимизации радиационных погрешностей, и оценить перспективы их практического применения в агрометеорологическом мониторинге виноградников. Превосходство разработанного алгоритма математической коррекции над альтернативными техническими решениями объясняется не только высокой точностью описания процессов теплообмена, но и способностью адаптироваться к изменяющимся метеорологическим условиям в режиме реального времени, что принципиально отличает его от статических методов защиты.

Фундаментальное понимание причин наблюдаемых различий в эффективности исследованных методов требует рассмотрения динамики тепловых процессов в радиационных экранах. Анализ экспериментальных данных убедительно подтверждает теоретические предпосылки о доминирующей роли прямой солнечной радиации в формировании положительных температурных отклонений, что согласуется с результатами

**Рис. 9.** Двумерная диаграмма рассеяния параллельных измерений температуры воздуха для вентилируемого (а), невентилируемого (б) и скорректированного (в) радиационных экранов относительно эталонных данных за июнь — август 2023 года: красная линия — биссектриса 1:1, синяя линия — линейная регрессия

**Fig. 9.** Two-dimensional scatter plot of parallel air temperature measurements for ventilated (a), non-ventilated (b), and corrected (c) radiation shields relative to reference data for June — August 2023: red line — 1:1 bisector, blue line — linear regression



исследований da Cunha [20] и Sun и соавт. [21], которые отмечали критическое влияние инсоляции на точность измерений температуры воздуха. Однако принципиальным отличием настоящего исследования является учет конвективного теплообмена не только как функции скорости ветра, но и как процесса, зависящего от геометрических характеристик защитного устройства, что обеспечивает более точное описание реальных физических процессов.

Сравнение полученных результатов с данными литературы демонстрирует существенное превосходство разработанного подхода над ранее предложенными методами коррекции. В работах Yang и соавт. [29, 33] описаны алгоритмы коррекции, основанные на упрощенных моделях теплообмена, которые не учитывают влияние геометрии радиационного экрана на динамику конвективных процессов. Экспериментальная проверка этих методов на исследуемом радиационном экране показала систематическую недооценку температурных отклонений на 35–40%, что подтверждает критическую важность учета конструктивных особенностей защитных устройств. Аналогично применение формул Hubbard и Lin [23] приводило к неудовлетворительным результатам коррекции, поскольку их модель не отражает специфику теплообмена в многопластинчатых радиационных экранах.

Практическая значимость вентилируемых радиационных экранов, несмотря на их высокую теоретическую эффективность, существенно ограничивается эксплуатационными проблемами, которые становятся критическими при создании распределенных сетей мониторинга. Результаты длительных испытаний выявили три принципиальных недостатка аспирационных систем. Во-первых, повышенное энергопотребление вентиляторов сокращает время автономной работы, что требует установки более мощных систем питания или регулярной замены аккумуляторов. Во-вторых, механические компоненты подвержены отказам вследствие загрязнения пылью, попадания насекомых и износа подшипников, что снижает общую надежность системы согласно принципам теории надежности [42]. В-третьих, акустические помехи от работающих вентиляторов могут негативно влиять на поведение полезных насекомых в агроценозе винограда, что особенно критично для хозяйств, практикующих органическое земледелие.

Энергетическая эффективность разработанного метода математической коррекции представляет ключевое преимущество для создания плотных сетей мониторинга на больших площадях виноградников. Вычислительная сложность итерационного алгоритма остается умеренной даже для микроконтроллеров среднего класса: время выполнения одного цикла коррекции составляет менее 50 миллисекунд при частоте процессора 240 МГц, что позволяет выполнять расчеты

синхронно с частотой измерений датчика без значимого влияния на общее энергопотребление системы. Это обстоятельство открывает возможности для развертывания автономных узлов мониторинга с интервалами между техническими обслуживаниями до одного года, что критично для экономической целесообразности проектов точного виноградарства.

Ограничения предложенного метода коррекции проявляются преимущественно в экстремальных метеорологических условиях, когда упрощения, принятые в математической модели, приводят к накоплению остаточных погрешностей. Наиболее существенные отклонения наблюдаются при одновременном сочетании максимальной инсоляции свыше 1100 Вт/м<sup>2</sup>, полном штиле и высоких температурах воздуха выше 35 °С, когда процессы свободной конвекции становятся соизмеримыми с вынужденной конвекцией. В таких условиях модель, основанная на суперпозиции конвективных механизмов согласно уравнению (5), может недооценивать сложность взаимодействия тепловых потоков. Тем не менее даже в этих экстремальных случаях максимальные отклонения не превышают 0,6 °С, а средние — составляют 0,2 °С, что остается приемлемым для большинства задач агрометеорологического мониторинга.

Универсальность разработанной математической модели подтверждается предварительными испытаниями на радиационных экранах альтернативных конструкций, включая однопластинчатые экраны и устройства с различными материалами поверхности. Результаты показали, что модификация только геометрических параметров  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  и коэффициента альбедо  $A$  в уравнении (9) позволяет достичь сопоставимой точности коррекции для экранов диаметром от 80 до 200 мм, что охватывает большинство коммерчески доступных конструкций. Эта адаптивность модели создает предпосылки для стандартизации методов коррекции в агрометеорологической практике и снижения затрат на калибровку измерительных систем.

Перспективы дальнейшего совершенствования предложенного подхода связаны с расширением физической модели за счет учета дополнительных факторов, влияющих на точность измерений. Интеграция параметров влажности воздуха может повысить точность расчета теплофизических свойств среды, особенно при высоких температурах, когда изменение плотности воздуха становится значимым. Включение в модель температуры поверхности радиационного экрана посредством дополнительных датчиков позволит более точно описать процессы радиационного теплообмена и исключить необходимость эмпирической калибровки коэффициента  $k$ . Развитие методов машинного обучения открывает возможности для создания адаптивных алгоритмов коррекции, способных автоматически настраивать параметры модели на основе накопленного опыта измерений в конкретных климатических условиях.



## Выводы/Conclusions

Проведенное исследование продемонстрировало эффективность разработанных подходов к повышению точности измерения температуры воздуха с использованием доступных метеорологических устройств для виноградарства. На основе комплексного анализа экспериментальных данных можно сформулировать следующие основные выводы:

1. При использовании неветилируемых радиационных экранов в условиях интенсивной солнечной радиации наблюдаются существенные положительные отклонения измеренных значений температуры воздуха, достигающие 3 °C, что неприемлемо для точного микроклиматического мониторинга виноградников.

2. Применение вентилируемых (аспирационных) радиационных экранов позволяет значительно минимизировать влияние солнечной радиации на показания датчиков, удерживая погрешность измерений в пределах 1 °C. Однако данное техническое решение сопряжено с повышенной стоимостью, необходимостью более частого обслуживания и сниженной надежностью системы в целом.

3. Разработанный алгоритм математической коррекции измерений, основанный на физической модели теплообмена с учетом интенсивности солнечной радиации и скорости ветра, позволяет достичь наилучших результатов с максимальными отклонениями не более 0,6 °C в экстремальных условиях и средними отклонениями

0,2 °C, что удовлетворяет требованиям агрометеорологического мониторинга виноградников.

4. Разработан алгоритм итерационного решения с механизмами обработки сингулярных состояний и обеспечением устойчивой конвергенции для реализации в микроконтроллерных системах.

5. Представленная математическая модель, несмотря на учет геометрических характеристик радиационного экрана, сохраняет свойство универсальности и может быть адаптирована для различных типов защитных устройств посредством калибровки соответствующих коэффициентов.

Практическое применение разработанных методов коррекции открывает возможности для создания экономически эффективных систем пространственно-распределенного микроклиматического мониторинга на виноградниках, что имеет принципиальное значение для оптимизации агротехнических мероприятий, своевременного выявления рисков развития болезней и вредителей, а также повышения качества урожая.

Для дальнейшего совершенствования предложенного метода целесообразно проведение дополнительных исследований по расширению диапазона метеорологических условий, включению дополнительных параметров в математическую модель (таких как влажность воздуха и температура поверхности радиационного экрана), а также адаптации алгоритма для различных конструктивных исполнений защитных устройств.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FNZM-2025-0005 «Разработка методов предиктивной аналитики и развитие интеллектуальных технологий в виноградарстве»), а также проекта программы «Приоритет-2030» (№ госрегистрации 125092310677-9).

## FUNDING

The study was supported within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (no. FNZM-2025-0005 "Development of predictive analytics methods and advancement of intelligent technologies in viticulture", as well as within the project of the program "Priority-2030" (state registration number 125092310677-9).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Jones G.V., Davis R.E. Using a synoptic climatological approach to understand climate-viticulture relationships. *International Journal of Climatology*. 2000; 20(8): 813–837. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(20000630\)20:8<813::AID-JOC495>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/1097-0088(20000630)20:8<813::AID-JOC495>3.0.CO;2-W)
2. Korosi G.A., Mee P.T., Powell K.S. Influence of temperature and humidity on mortality of grapevine phylloxera *Daktulosphaira vitifoliae* clonal lineages: a scientific validation of a disinfection procedure for viticultural machinery. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2012; 18(1): 43–47. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00168.x>
3. Matese A. et al. Spatial variability of meteorological conditions at different scales in viticulture. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2014; 189–190: 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.01.020>
4. Ammoniaci M., Kartsiotis S.-P., Perria R., Storchi P. State of the Art of Monitoring Technologies and Data Processing for Precision Viticulture. *Agriculture*. 2021; 11(3): 201. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030201>
5. Karimi N., Arabhosseini A., Karimi M., Kianmehr M.H. Web-based monitoring system using Wireless Sensor Networks for traditional vineyards and grape drying buildings. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018; 144: 269–283. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.018>

## REFERENCES

1. Jones G.V., Davis R.E. Using a synoptic climatological approach to understand climate-viticulture relationships. *International Journal of Climatology*. 2000; 20(8): 813–837. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(20000630\)20:8<813::AID-JOC495>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/1097-0088(20000630)20:8<813::AID-JOC495>3.0.CO;2-W)
2. Korosi G.A., Mee P.T., Powell K.S. Influence of temperature and humidity on mortality of grapevine phylloxera *Daktulosphaira vitifoliae* clonal lineages: a scientific validation of a disinfection procedure for viticultural machinery. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2012; 18(1): 43–47. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00168.x>
3. Matese A. et al. Spatial variability of meteorological conditions at different scales in viticulture. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2014; 189–190: 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.01.020>
4. Ammoniaci M., Kartsiotis S.-P., Perria R., Storchi P. State of the Art of Monitoring Technologies and Data Processing for Precision Viticulture. *Agriculture*. 2021; 11(3): 201. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030201>
5. Karimi N., Arabhosseini A., Karimi M., Kianmehr M.H. Web-based monitoring system using Wireless Sensor Networks for traditional vineyards and grape drying buildings. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018; 144: 269–283. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.018>

6. Bramley R.G.V. Precision Viticulture: Managing vineyard variability for improved quality outcomes. Reynolds A.G. (ed.). *Managing Wine Quality*. 2nd Edition. Woodhead Publishing. 2021; 1: 541–586. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102067-8.00002-6>
7. Romero P., Navarro J.M., Ordaz P.B. Towards a sustainable viticulture: The combination of deficit irrigation strategies and agroecological practices in Mediterranean vineyards. A review and update. *Agricultural Water Management*. 2022; 259: 107216. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107216>
8. Darouich H. et al. Water Use and Soil Water Balance of Mediterranean Vineyards under Rainfed and Drip Irrigation Management: Evapotranspiration Partition and Soil Management Modelling for Resource Conservation. *Water*. 2022; 14(4): 554. <https://doi.org/10.3390/w14040554>
9. Cortiñas Rodríguez J.A., González-Fernández E., Fernández-González M., Vázquez-Ruiz R.A., Aira M.J. Fungal Diseases in Two North-West Spain Vineyards: Relationship with Meteorological Conditions and Predictive Aerobiological Model. *Agronomy*. 2020; 10(2): 219. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020219>
10. Kuznetsov P.N., Kotelnikov D.Y., Shchekin V.Y., Koltsov A.D., Kabankova E.N. Intelligent complex of monitoring and diagnostics of grape plantations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 981: 032020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/3/032020>
11. Кузнецов П.Н., Котельников Д.Ю., Воронин Д.Ю. Технология автоматизированного мониторинга состояния виноградника. *Аграрная наука*. 2023; (3): 109–116. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-109-116>
12. Кузнецов П.Н., Котельников Д.Ю. Автоматизированный технологический комплекс мониторинга и диагностики виноградников. *Вестник аграрной науки Дона*. 2021; (4): 16–23. <https://elibrary.ru/auqdkc>
13. Onesti G., González-Domínguez E., Rossi V. Accurate prediction of black rot epidemics in vineyards using a weather-driven disease model. *Pest Management Science*. 2016; 72(12): 2321–2329. <https://doi.org/10.1002/ps.4277>
14. Sadras V.O., Petrie P.R. Predicting the time course of grape ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2012; 18(1): 48–56. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00169.x>
15. Sirsat M.S., Mendes-Moreira J., Ferreira C., Cunha M. Machine Learning predictive model of grapevine yield based on agroclimatic patterns. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2019; 12(4): 443–450. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.07.003>
16. Ohana-Levi N., Munitz S., Netzer Y. Grapevine stem water potential seasonal curves: response to meteorological conditions, and association to yield and red wine quality. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2023; 342: 109755. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109755>
17. Treder W., Klamkowski K., Tryngiel-Gač A., Wójcik K. Evaluating the suitability of a new telemetric capacitance-based measurement system for real-time application in irrigation and fertilization management. *Journal of Water and Land Development*. 2023; 56(1–3): 67–73. <https://doi.org/10.24425/jwld.2023.143746>
18. Ferrández-Pastor F.J., García-Chamizo J.M., Nieto-Hidalgo M., Mora-Martínez J. Precision Agriculture Design Method Using a Distributed Computing Architecture on Internet of Things Context. *Sensors*. 2018; 18(6): 1731. <https://doi.org/10.3390/s18061731>
19. Ioannou K., Karampatzakis D., Amanatidis P., Aggelopoulos V., Karmiris I. Low-Cost Automatic Weather Stations in the Internet of Things. *Information*. 2021; 12(4): 146. <https://doi.org/10.3390/info12040146>
20. da Cunha A.R. Evaluation of measurement errors of temperature and relative humidity from HOBO data logger under different conditions of exposure to solar radiation. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015; 187(5): 236. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4458-x>
21. Sun X., Yan S., Wang B., Xia L., Liu Q., Zhang H. Air Temperature Error Correction Based on Solar Radiation in an Economical Meteorological Wireless Sensor Network. *Sensors*. 2015; 15(8): 18114–18139. <https://doi.org/10.3390/s150818114>
22. Erell E., Leal V., Maldonado E. Measurement of air temperature in the presence of a large radiant flux: an assessment of passively ventilated thermometer screens. *Boundary-Layer Meteorology*. 2005; 114(1): 205–231. <https://doi.org/10.1007/s10546-004-8946-8>
23. Hubbard K.G., Lin X. Realtime data filtering models for air temperature measurements. *Geophysical Research Letters*. 2002; 29(10): 67–1–67–4. <https://doi.org/10.1029/2001GL013191>
6. Bramley R.G.V. Precision Viticulture: Managing vineyard variability for improved quality outcomes. Reynolds A.G. (ed.). *Managing Wine Quality*. 2nd Edition. Woodhead Publishing. 2021; 1: 541–586. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102067-8.00002-6>
7. Romero P., Navarro J.M., Ordaz P.B. Towards a sustainable viticulture: The combination of deficit irrigation strategies and agroecological practices in Mediterranean vineyards. A review and update. *Agricultural Water Management*. 2022; 259: 107216. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107216>
8. Darouich H. et al. Water Use and Soil Water Balance of Mediterranean Vineyards under Rainfed and Drip Irrigation Management: Evapotranspiration Partition and Soil Management Modelling for Resource Conservation. *Water*. 2022; 14(4): 554. <https://doi.org/10.3390/w14040554>
9. Cortiñas Rodríguez J.A., González-Fernández E., Fernández-González M., Vázquez-Ruiz R.A., Aira M.J. Fungal Diseases in Two North-West Spain Vineyards: Relationship with Meteorological Conditions and Predictive Aerobiological Model. *Agronomy*. 2020; 10(2): 219. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020219>
10. Kuznetsov P.N., Kotelnikov D.Y., Shchekin V.Y., Koltsov A.D., Kabankova E.N. Intelligent complex of monitoring and diagnostics of grape plantations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 981: 032020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/3/032020>
11. Kuznetsov P.N., Kotelnikov D.Yu., Voronin D.Yu. Technology of automated monitoring of the vineyard condition. *Agrarian science*. 2023; (3): 109–116 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-109-116>
12. Kuznetsov P.N., Kotelnikov D.Yu. Automated technological complex for monitoring and diagnostic vineyard. *Don agrarian science bulletin*. 2021; (4): 16–23 (in Russian). <https://elibrary.ru/auqdkc>
13. Onesti G., González-Domínguez E., Rossi V. Accurate prediction of black rot epidemics in vineyards using a weather-driven disease model. *Pest Management Science*. 2016; 72(12): 2321–2329. <https://doi.org/10.1002/ps.4277>
14. Sadras V.O., Petrie P.R. Predicting the time course of grape ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2012; 18(1): 48–56. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00169.x>
15. Sirsat M.S., Mendes-Moreira J., Ferreira C., Cunha M. Machine Learning predictive model of grapevine yield based on agroclimatic patterns. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2019; 12(4): 443–450. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.07.003>
16. Ohana-Levi N., Munitz S., Netzer Y. Grapevine stem water potential seasonal curves: response to meteorological conditions, and association to yield and red wine quality. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2023; 342: 109755. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109755>
17. Treder W., Klamkowski K., Tryngiel-Gač A., Wójcik K. Evaluating the suitability of a new telemetric capacitance-based measurement system for real-time application in irrigation and fertilization management. *Journal of Water and Land Development*. 2023; 56(1–3): 67–73. <https://doi.org/10.24425/jwld.2023.143746>
18. Ferrández-Pastor F.J., García-Chamizo J.M., Nieto-Hidalgo M., Mora-Martínez J. Precision Agriculture Design Method Using a Distributed Computing Architecture on Internet of Things Context. *Sensors*. 2018; 18(6): 1731. <https://doi.org/10.3390/s18061731>
19. Ioannou K., Karampatzakis D., Amanatidis P., Aggelopoulos V., Karmiris I. Low-Cost Automatic Weather Stations in the Internet of Things. *Information*. 2021; 12(4): 146. <https://doi.org/10.3390/info12040146>
20. da Cunha A.R. Evaluation of measurement errors of temperature and relative humidity from HOBO data logger under different conditions of exposure to solar radiation. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015; 187(5): 236. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4458-x>
21. Sun X., Yan S., Wang B., Xia L., Liu Q., Zhang H. Air Temperature Error Correction Based on Solar Radiation in an Economical Meteorological Wireless Sensor Network. *Sensors*. 2015; 15(8): 18114–18139. <https://doi.org/10.3390/s150818114>
22. Erell E., Leal V., Maldonado E. Measurement of air temperature in the presence of a large radiant flux: an assessment of passively ventilated thermometer screens. *Boundary-Layer Meteorology*. 2005; 114(1): 205–231. <https://doi.org/10.1007/s10546-004-8946-8>
23. Hubbard K.G., Lin X. Realtime data filtering models for air temperature measurements. *Geophysical Research Letters*. 2002; 29(10): 67–1–67–4. <https://doi.org/10.1029/2001GL013191>

24. Hubbard J.A. An Inexpensive Alternative Solar Radiation Shield for Ambient Air Temperature Micro-Sensors. *Journal of Natural & Environmental Sciences*. 2011; 2(2): 9–14.
25. Tarara J.M., Hoheisel G.-A. Low-cost Shielding to Minimize Radiation Errors of Temperature Sensors in the Field. *HortScience*. 2007; 42(6): 1372–1379.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.6.1372>
26. Yang J., Deng X., Liu Q., Ding R. Design and experimental study of an effective, low-cost, naturally ventilated radiation shield for monitoring surface air temperature. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 2021; 133(2): 349–357.  
<https://doi.org/10.1007/s00703-020-00754-1>
27. Richardson S.J., Brock F.V., Semmer S.R., Jirak C. Minimizing Errors Associated with Multiplate Radiation Shields. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 1999; 16(11): 1862–1872.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1999\)016<1862:MEAWMR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1999)016<1862:MEAWMR>2.0.CO;2)
28. Yang S.-H., Lee C.-G., Kim J.-Y., Lee W.-K., Ashtinai-Araghi A., Rhee J.-Y. Effects of Fan-Aspirated Radiation Shield for Temperature Measurement in Greenhouse Environment. *Journal of Biosystems Engineering*. 2012; 37(4): 245–251.  
<https://doi.org/10.5307/JBE.2012.37.4.245>
29. Yang J., Liu Q., Dai W., Ding R. A temperature error correction method for a naturally ventilated radiation shield. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2016; 149: 40–45.  
<https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.09.010>
30. Georges C., Kaser G. Ventilated and unventilated air temperature measurements for glacier-climate studies on a tropical high mountain site. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2002; 107(D24): ACL15-1–ACL15-10.  
<https://doi.org/10.1029/2002JD002503>
31. Jenkins G. A comparison between two types of widely used weather stations. *Weather*. 2014; 69(4): 105–110.  
<https://doi.org/10.1002/wea.2158>
32. Dai W., Tan M., Zhu H. Design of a radiation shield applied to surface air temperature monitoring. *Journal of Instrumentation*. 2023; 18: P02015.  
<https://doi.org/10.1088/1748-0221/18/02/P02015>
33. Yang J., Liu Q., Dai W. A method for solar radiation error correction of temperature measured in a reinforced plastic screen for climatic data collection. *International Journal of Climatology*. 2018; 38(3): 1328–1336.  
<https://doi.org/10.1002/joc.5247>
34. Matese A., Di Gennaro S.F., Zaldei A., Genesio L., Vaccari F.P. A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2009; 69(1): 51–58.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.06.016>
35. Morais R., Fernandes M.A., Matos S.G., Seródio C., Ferreira P.J.S.G., Reis M.J.C.S. A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2008; 62(2): 94–106.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.12.004>
36. Hubbard K.G., Lin X., Walter-Shea E.A. The Effectiveness of the ASOS, MMTS, Gill, and CRS Air Temperature Radiation Shields. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2001; 18(6): 851–864.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2001\)018<0851:TEOTAM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2001)018<0851:TEOTAM>2.0.CO;2)
37. Incropera F.P., DeWitt D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 4th Edition. New York: Wiley. 1996; xxiii, 886. ISBN 0471304603
38. Agarwal, Divya, Sneh J. Devra, Tiwari A. Probability and probability distribution as decision making tool in agriculture: A review. *International Journal of Statistics and Applied Mathematics*. 2024; 9(5): 208–213
39. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. 2-е изд. М.: Физматлит. 2012; 816.
40. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*. 2007; 50(3): 885–900.  
<https://doi.org/10.13031/2013.23153>
41. Gupta H.V., Kling H., Yilmaz K.K., Martinez G.F. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*. 2009; 377(1–2): 80–91.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>
42. Rausand M., Barros A., Hoyland A. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications. 3rd Edition. Wiley. 2020; 864. ISBN 978-1-119-37352-0
24. Hubbard J.A. An Inexpensive Alternative Solar Radiation Shield for Ambient Air Temperature Micro-Sensors. *Journal of Natural & Environmental Sciences*. 2011; 2(2): 9–14.
25. Tarara J.M., Hoheisel G.-A. Low-cost Shielding to Minimize Radiation Errors of Temperature Sensors in the Field. *HortScience*. 2007; 42(6): 1372–1379.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.6.1372>
26. Yang J., Deng X., Liu Q., Ding R. Design and experimental study of an effective, low-cost, naturally ventilated radiation shield for monitoring surface air temperature. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 2021; 133(2): 349–357.  
<https://doi.org/10.1007/s00703-020-00754-1>
27. Richardson S.J., Brock F.V., Semmer S.R., Jirak C. Minimizing Errors Associated with Multiplate Radiation Shields. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 1999; 16(11): 1862–1872.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1999\)016<1862:MEAWMR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1999)016<1862:MEAWMR>2.0.CO;2)
28. Yang S.-H., Lee C.-G., Kim J.-Y., Lee W.-K., Ashtinai-Araghi A., Rhee J.-Y. Effects of Fan-Aspirated Radiation Shield for Temperature Measurement in Greenhouse Environment. *Journal of Biosystems Engineering*. 2012; 37(4): 245–251.  
<https://doi.org/10.5307/JBE.2012.37.4.245>
29. Yang J., Liu Q., Dai W., Ding R. A temperature error correction method for a naturally ventilated radiation shield. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2016; 149: 40–45.  
<https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.09.010>
30. Georges C., Kaser G. Ventilated and unventilated air temperature measurements for glacier-climate studies on a tropical high mountain site. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2002; 107(D24): ACL15-1–ACL15-10.  
<https://doi.org/10.1029/2002JD002503>
31. Jenkins G. A comparison between two types of widely used weather stations. *Weather*. 2014; 69(4): 105–110.  
<https://doi.org/10.1002/wea.2158>
32. Dai W., Tan M., Zhu H. Design of a radiation shield applied to surface air temperature monitoring. *Journal of Instrumentation*. 2023; 18: P02015.  
<https://doi.org/10.1088/1748-0221/18/02/P02015>
33. Yang J., Liu Q., Dai W. A method for solar radiation error correction of temperature measured in a reinforced plastic screen for climatic data collection. *International Journal of Climatology*. 2018; 38(3): 1328–1336.  
<https://doi.org/10.1002/joc.5247>
34. Matese A., Di Gennaro S.F., Zaldei A., Genesio L., Vaccari F.P. A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2009; 69(1): 51–58.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.06.016>
35. Morais R., Fernandes M.A., Matos S.G., Seródio C., Ferreira P.J.S.G., Reis M.J.C.S. A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2008; 62(2): 94–106.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.12.004>
36. Hubbard K.G., Lin X., Walter-Shea E.A. The Effectiveness of the ASOS, MMTS, Gill, and CRS Air Temperature Radiation Shields. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2001; 18(6): 851–864.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2001\)018<0851:TEOTAM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2001)018<0851:TEOTAM>2.0.CO;2)
37. Incropera F.P., DeWitt D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 4th Edition. New York: Wiley. 1996; xxiii, 886. ISBN 0471304603
38. Agarwal, Divya, Sneh J. Devra, Tiwari A. Probability and probability distribution as decision making tool in agriculture: A review. *International Journal of Statistics and Applied Mathematics*. 2024; 9(5): 208–213
39. Kobzar A.I. Applied Mathematical Statistics. For Engineers and Researchers. 2nd Edition. Moscow: Fizmatlit. 2012; 816 (in Russian).
40. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*. 2007; 50(3): 885–900.  
<https://doi.org/10.13031/2013.23153>
41. Gupta H.V., Kling H., Yilmaz K.K., Martinez G.F. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*. 2009; 377(1–2): 80–91.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>
42. Rausand M., Barros A., Hoyland A. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications. 3rd Edition. Wiley. 2020; 864. ISBN 978-1-119-37352-0



## ОБ АВТОРАХ

**Павел Николаевич Кузнецов<sup>1,2</sup>**

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник<sup>1</sup>;  
кандидат технических наук, доцент<sup>2</sup>  
PNKuznetsov@sevsu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1732-922X>

**Дмитрий Юрьевич Котельников<sup>1,2</sup>**

младший научный сотрудник<sup>1</sup>;  
доцент<sup>2</sup>  
DYKotelnikov@ya.ru  
<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-9065-243X>

**Владислав Павлович Евстигнеев<sup>2</sup>**

кандидат физико-математических наук,  
доцент  
VPEvstigneev@sevsu.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-3064-2613>

**Дмитрий Юрьевич Воронин<sup>1</sup>**

кандидат технических наук, доцент  
dima\_77@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6053-4758>

<sup>1</sup>Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарах» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», ул. Кирова, 31, Ялта, 298600, Россия

<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053, Россия

## ABOUT THE AUTHORS

**Pavel Nikolaevich Kuznetsov<sup>1,2</sup>**

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher<sup>1</sup>;  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor<sup>2</sup>  
PNKuznetsov@sevsu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1732-922X>

**Dmitry Yurievich Kotelnikov<sup>1,2</sup>**

Junior Research Assistant<sup>1</sup>;  
Associate Professor<sup>2</sup>  
DYKotelnikov@ya.ru  
<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-9065-243X>

**Vladislav Pavlovich Evstigneev<sup>2</sup>**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor  
VPEvstigneev@sevsu.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-3064-2613>

**Dmitry Yurievich Voronin<sup>1</sup>**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
dima\_77@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6053-4758>

<sup>1</sup>All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Nationale Research Center "Kurchatov Institute",

31 Kirova Str., Yalta, 298600, Russia

<sup>2</sup>Sevastopol State University,  
33 Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russia



## Достойное вознаграждение за привлеченную рекламу от ИД «Аграрная наука»

**Вы**

- общительны и активны
- владеете связями в сфере АПК
- имеете время и желание
- хотите заработать

**Мы гарантируем**

- ☒ интересную работу по привлечению рекламы в проекты ИД
- ☒ свободный, удобный график
- ☒ официальное оформление
- ☒ щедрый % за принесенную вами рекламу

**Звоните +7 (916) 616-05-31**

Реклама