

Научная статья

УДК 631.544.45:628.83

DOI 10.48012/1817-5457_2026_1_158-166

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АКТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В КАМЕРЕ ФИТОТРОНА

Гусенников Евгений Николаевич[✉], Юран Сергей Иосифович

Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия

ujhuf99@gmail.com[✉]

Аннотация. Фитотрон является установкой, предназначенной для проведения экспериментов по выращиванию растений в строго контролируемых условиях. В контексте разработки «бытового фитотрона» ключевым параметром регулировки микроклимата при помощи вентиляции является температура воздуха в камере. При проектировании фитотрона с уникальными конструктивными решениями необходимо проводить индивидуальный технический анализ вентиляции. Цель данного исследования заключается в получении проектного решения системы вентиляции для разрабатываемого фитотрона. Для достижения данной цели были поставлены и выполнены задачи, включающие в себя разработку методики проектирования вентиляции и проектирование системы вентиляции для разрабатываемого устройства. Проведен анализ концепции разделения фитотрона на две камеры: камеру выращивания растений и камеру нагрева почвы. Описаны и проанализированы воздушные потоки в упрощенном виде, проходящие через камеры фитотрона. В качестве вентилярующего оборудования выбран вентилятор марки S01138812H. Разработана электрическая схема системы активной вентиляции на основе компьютерного вентилятора. Исходя из агрономических рекомендаций к проектированию вентиляции были рассчитаны рабочие параметры вентилятора. Рассчитанный рабочий режим относительно номинального позволяет более мягко регулировать уровень температуры в камере фитотрона. Рассмотрена обобщенная блок-схема автоматической системы вентиляции и описано необходимое техническое оборудование для ее реализации. Представлена логическая блок-схема подпрограммы автоматического управления проветривающим вентилятором для поддержания температурного режима в камере фитотрона. Также разработана логическая блок-схема подпрограммы для реализации П-закона регулирования температуры при двоичном сигнале управления вентилятором, способная наиболее эффективно регулировать производительность вентилятора, которая в номинальном режиме значительно превышает рекомендуемую.

Ключевые слова: фитотрон, активная вентиляция, вентилятор, автоматизированная система, регулирование температуры, закрытый грунт.

Для цитирования: Гусенников Е. Н., Юран С. И. Проектирование активной вентиляции в камере фитотрона // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2026. № 1(85). С. 158-166. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2026_1_158-166.

Введение. Фитотрон представляет собой специализированную камеру или установку, предназначенную для проведения экспериментов по выращиванию растений в строго контролируемых условиях [3, 8, 9, 13, 15]. Одним из ключевых факторов, влияющих на успешность таких экспериментов, является обеспечение оптимальных параметров микроклимата, в том числе за счет применения вентиляции [2, 10, 12, 19]. В контексте фитотрона ключевым параметром регулировки микроклимата при помощи вентиляции является температура воздуха в камере. Помимо температуры на рост растений влияет уровень CO₂ и уровень влажности воздуха, однако в процессе регулировки температуры при активном проветривании данные параметры нормализуются вследствие достаточ-

ной кратности воздухообмена [1, 6, 11]. Авторами рассматриваются особенности проектирования активной вентиляции в камере разрабатываемого бытового фитотрона на основе контроля уровня температуры воздуха [5].

Актуальность: при проектировании фитотрона с уникальными конструктивными решениями необходимо проводить индивидуальный технический анализ вентиляции.

Цель исследования – получение проектного решения системы вентиляции для разрабатываемого фитотрона.

Задачи:

1. Спроектировать конструкцию системы вентиляции фитотрона.
2. Разработать и обосновать аппаратную составляющую систему вентиляции фитотрона.

3. Разработать программную реализацию управления вентиляцией.

Материал и методы. К основным этапам проектирования активной вентиляции в фитотроне относятся: формулирование требований к системе вентилирования, выбор вентилятора и его расположение, расчет характеристик вентилирующего оборудования, разработка и настройка системы управления вентилятором. Рассмотрим каждый из указанных этапов.

Активная вентиляция в фитотроне выполняет сразу несколько задач:

- поддержание благоприятного температурного режима и влажности внутри камеры, способствующих эффективному росту растений;
- удаление избытка влаги и предотвращение образования конденсата;
- подача свежего воздуха и удаление избытка CO_2 для поддержания уровня газообмена, необходимого для фотосинтеза и дыхания растений;
- защита от перегрева фитосветильника и другого оборудования.

При выборе вентиляторов для камеры фитотрона следует учитывать:

- размеры камеры;
- требуемую кратность воздухообмена;
- энергоэффективность;
- надежность и срок службы.

На этапе проектирования вентиляции необходимо учитывать:

- объем камеры;
- желаемую кратность воздухообмена в час;
- сопротивление воздушного тракта и фильтров;
- необходимое статическое давление и производительность вентиляторов.

Для равномерного распределения воздуха применяются следующие подходы к расположению вентиляторов:

- диагональное или кольцевое размещение вентиляторов;
- использование воздуховодов или дефлекторов;
- принудительное перемешивание воздуха внутри камеры;
- разделение входного и выходного потоков перегородками с отверстиями.

К основным возможностям автоматизированной вентиляции относят:

- изменение частоты вращения вала электродвигателя вентилятора в зависимости от показаний датчиков температуры и влажности;
- включение и выключение вентиляции по таймеру или расписанию.

Разрабатываемое устройство. Вентиляция проектировалась в разрабатываемом устройстве «Бытовой фитотрон» [5]. Ключевой особенностью данного устройства помимо компактных размеров является разделение рабочей камеры на две части с помощью перегородки с отверстиями. Эта перегородка разделяет рабочую зону на две камеры: камеру выращивания растений и камеру нагрева почвы с установленным в ней электронагревателем. Данное решение обусловлено законами термодинамики, согласно которым более нагретый воздух будет задерживаться в камере нагрева почвы, после чего переходить с пониженной температурой в камеру выращивания растений.

Проектируемая вентиляция должна выполнять две основные функции: обновлять воздух в камере путем воздухообмена и регулировать температуру в камере за счет притока воздуха. Поскольку воздух в камере должен быть нагретым, то воздухообмен будет происходить за счет естественной конвекции при включении нагревателей. Поэтому рассмотрим процесс регулирования температуры воздуха в камере за счет притока воздуха.

Результаты исследования. Учитывая конструктивные особенности фитотрона, решено установить вентилятор в верхней части камеры выращивания растений. Данный выбор обоснован свойствами конвекции и особенностями поддержания микроклимата для растений. Поскольку в камере фитотрона при решении ряда технологических задач необходимо поддерживать достаточно высокий уровень температуры, то резкое понижение температуры может вызывать стресс у растений. При этом перегрев воздуха в процессе работы системы автоматического регулирования может возникать за счет переупреждения, но при правильной настройке системы превышение заданного уровня температуры будет незначительным. Исходя из этого система вентиляции должна работать с относительно малой производительностью, обеспечивая плавное регулирование температуры. Этому может способствовать и режим работы вентилятора на приток воздуха в камеру выращивания растений. Для увеличения воздухообмена вентилятор переключается в режим вытяжки воздуха из камеры. Представим конструкцию фитотрона в виде упрощенной схемы (рис. 1).

На данной схеме пунктирными линиями показаны предполагаемые потоки при естественной вентиляции. Поскольку нагреватель установлен в нижней части фитотрона, то нагретый воздух, постепенно перемешиваясь со-

гласно принципам конвекции, будет подниматься вверх. Более теплый воздух будет оставаться в камере 1, нагревая горшки с почвой, а в камеру 2 будет поступать охлажденный воздух через отверстия в перегородке. Вентилятор в свою очередь может усилить движение воздушного потока при его включении в режим вытяжки воздуха из камеры 2 [14].

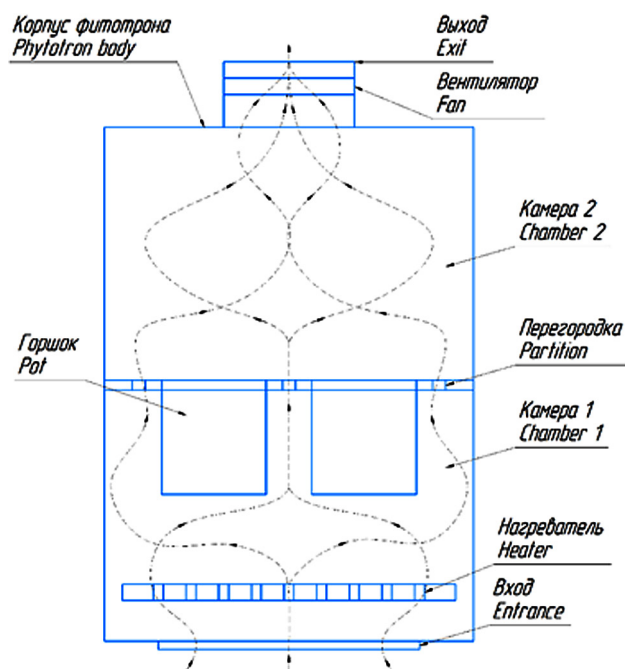


Рисунок 1 – Упрощенная схема устройства

Данный режим используется, если необходимо снизить температуру в камере 1, где располагаются горшки с почвой. Однако при включении вентилятора в режим притока воздуха из внешней среды в камеру 2 потоки теплого воздуха будут задерживаться в камере 2, при этом будет поступать свежий воздух снаружи камеры через отверстия выхода. В результате обеспечивается более мягкий режим регулирования температуры воздуха в камере 2, и при этом не создается дополнительной воздушной тяги в камере 1, где требуется более высокий уровень температуры для подогрева корней растений. Для поддержания благоприятного уровня содержания CO₂ и уровня влажности воздуха

в устройствах аналогичного размера, как правило, принимают кратность воздухообмена от 10 до 30 [19]. Часто проектировщики отдают предпочтение компьютерным вентиляторам, так как они компактны, имеют широкую линейку размеров и характеристик, легко интегрируются в систему управления. В качестве вентилятора для разрабатываемого устройства был выбран компьютерный вентилятор марки S01138812H [18]. Размеры вентилятора 80 × 80 × 25 мм, напряжение питания 12 В, рабочий ток 170 мА, семь рабочих лопастей.

Поскольку данный вентилятор рассчитан на эффективный воздухообмен компьютерных комплектующих, суммарная тепловая мощность которых в 10...20 раз превышает мощность используемого в фитотроне нагревателя, то для уменьшения производительности и увеличения срока службы устройства решено использовать напряжение питания 9 В. Пониженное напряжение питания уменьшает частоту вращения вала электродвигателя и увеличивает время разгона вентилятора, обеспечивая тем самым более мягкое регулирование температуры в камере фитотрона.

Как правило, компьютерные вентиляторы способны работать только в одном направлении. Как указывалось выше, в разрабатываемом устройстве требуется двунаправленный вентилятор, работающий как в режиме притока, так и в режиме вытяжки воздуха, что позволяет плавно регулировать температуру воздуха. С этой целью была разработана схема реверса для компьютерного вентилятора, приведенная на рисунке 2.

Схема вентилятора с реверсом разделена на две части: схема питания вентилятора и схема питания реле реверса. Обе схемы управляются микроконтроллером фитотрона. При подаче сигнала на контакт cF1 включается вентилятор MF1 в исходном направлении. При подаче сигнала на контакт cFR1 контакты катушки K1 замыкаются, переключая обмотку вентилятора MF1, в результате чего происходит реверс направления вращения.

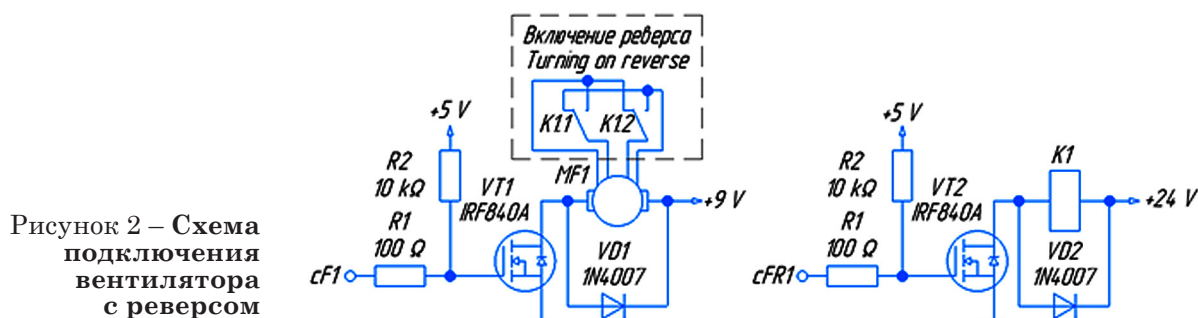


Рисунок 2 – Схема подключения вентилятора с реверсом

Ключевым параметром вентилятора является создаваемое им статическое давление, которое и определяет движение потока воздуха. В техническом листе вентилятора марки S01138812H при номинальном напряжении 12 В указано максимальное статическое давление, равное 3,58 мм вод. ст., что в переводе в паскали будет равно 35,1 Па [18]. Однако, как было указано выше, питающее напряжение вентилятора снижено с 12 до 9 В, следовательно, и создаваемое давление вентилятора снизится. Как известно, скорость вращения вентилятора постоянного тока пропорциональна приложенному напряжению питания ($n_{\text{раб}} \propto U_{\text{раб}}$) [17, 20]. В свою очередь создаваемое статическое давление пропорционально квадрату скорости вращения вентилятора ($P_{\text{стат}} \propto n_{\text{н}}^2$) [7, 21]. Тогда значение статического давления при измененном напряжении питания запишется в виде:

$$P_{\text{стат}}(U_{\text{раб}}) = P_{\text{стат}}(U_{\text{н}}) \cdot \left(\frac{U_{\text{раб}}}{U_{\text{н}}}\right)^2, \quad (1)$$

где $P_{\text{стат}}(U_{\text{раб}})$ – статическое давление, создаваемое вентилятором при питании от выбранного рабочего напряжения, Па;

$P_{\text{стат}}(U_{\text{н}})$ – статическое давление, создаваемое вентилятором при питании от номинального напряжения, Па;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение питания вентилятора, В;

$U_{\text{раб}}$ – выбранное рабочее напряжение питания вентилятора, В.

Проведя данные расчеты, получим при напряжении питания 9 В статическое давление для выбранного вентилятора, равное 19,6 Па.

В свою очередь производительность вентилятора по техническому листу составляет 67,8 м³/ч [18]. Поскольку производительность зависит от количества оборотов, которое, как указывалось ранее, пропорционально напряжению питания ($n_{\text{раб}} \propto U_{\text{раб}}$), то определим рабочую производительность вентилятора при питании от 9 В по формуле:

$$Q_{\text{раб}}(U_{\text{раб}}) = Q_{\text{н}} \cdot \frac{U_{\text{раб}}}{U_{\text{н}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{раб}}(U_{\text{раб}})$ – производительность вентилятора при питании от выбранного рабочего напряжения, м³/ч;

$Q_{\text{н}}$ – номинальная производительность вентилятора, м³/ч;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение питания вентилятора, В;

$U_{\text{раб}}$ – выбранное рабочее напряжение питания вентилятора, В.

Проведя данные расчеты, получим рабочую производительность при напряжении питания 9 В, равную 50,9 м³/ч. Для определения необходимой производительности для камеры разрабатываемого устройства умножим объем воздуха камеры выращивания растений ($6,2 \cdot 10^{-3}$ м³) на рекомендуемую кратность воздухообмена (15 ч^{-1}) и получим $93 \cdot 10^{-3}$ м³/ч.

Рабочая производительность больше рекомендуемой в 547 раз. Поэтому для обеспечения требуемого уровня воздухообмена в фитотроне разработана система автоматического управления вентилятором, обобщенная блок-схема которой представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Обобщенная блок-схема автоматической системы вентиляции

Система поддержания параметров микроклимата в фитотроне, а именно температуры и влажности воздуха, а также температуры почвы, оснащена датчиками температуры и влажности воздуха, и датчиком температуры почвы, которые подключены к входам микроконтроллера, например, Arduino, ESP, ОБЕН и др. [4]. Контроллер, обрабатывая полученные данные с датчиков, подает управляющие сигналы на контакты вентилятора, в результате работы которого происходит воздухообмен, что влияет на микроклимат в фитотроне, а именно, снижает температуру воздуха и, следовательно, температуру почвы [14]. На рисунке 4 представлена блок-схема подпрограммы поддержания температуры и влажности воздуха.

Подпрограмма поддержания температуры и влажности воздуха начинается со считывания сигнала с датчиков температуры воздуха, влажности воздуха и температуры почвы. Далее происходит последовательное сравнение полученных значений с заданными. Процесс сравнения имеет иерархическую структуру, в которой определяется необходимость проветривания относительно более важного параметра для здоровья растения – температура почвы – к менее важному – температура воздуха – и к еще менее важному – уровню влажности. После определения значения регулируемого параметра выбирается направление вращения лопастей вентилятора, а сигнал ошибки регулирования данного пара-

метра воздействует на вход П-регулятора, который подает сигнал на вентилятор. Если же вентиляции не требуется, на вентилятор подается нулевой сигнал.

Поскольку производительность вентилятора значительно превышает рекомендуемый уровень проветривания, то логичным шагом будет создание автоматической системы, позволяющей регулировать производительность вентилятора. Для данной задачи выбран пропорциональный закон регулирования (П-закон). Однако схема, приведенная на рисунке 2, не предназначена для регулирования напряжения, подаваемого на вентилятор. С этой целью необходимо преобразовать желаемый уровень производительности в длительность работы вентилятора в рабочем периоде. Данный метод аналогичен концепции ШИМ-регулирования [21]. Как и при ШИМ-регулировании, рабочий период вентилятора разделяется на участки, и в зависимости от требуемой производительности в диапазоне от 0 до 100 % регулируется время включения вентилятора в периоде. На рисунке 5 представлена блок-схема подпрограммы регулирования вентилятора.

Подпрограмма регулирования вентилятора начинается с вычисления ошибки регулирования и фиксации текущего времени, далее рассчитывается длительность активации вентилятора в периоде на основе ошибки регулирования. Далее производится сравнение отсчитанного времени с периодом ШИМ. Если это время закончилось, то программа возвращается в начало, а если период еще не завершился, то выполняется второе сравнение. Во втором сравнении соотносятся отсчитанное время и длительность активации вентилятора. Если время активации еще не прошло, то включается вентилятор, если время активации закончилось, то вентилятор выключается. После этого

подпрограмма возвращается к первому сравнению текущего времени с длительностью периода ШИМ. Таким образом время включения вентилятора может регулироваться от 0 % до 100 % заданного периода.

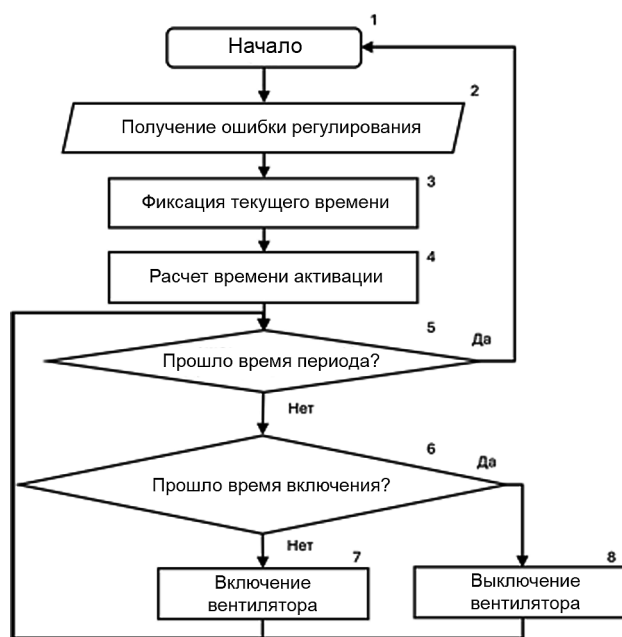


Рисунок 5 – Блок-схема подпрограммы регулирования вентилятора

В свою очередь продолжительность включения вентилятора в периоде определяется согласно уравнению:

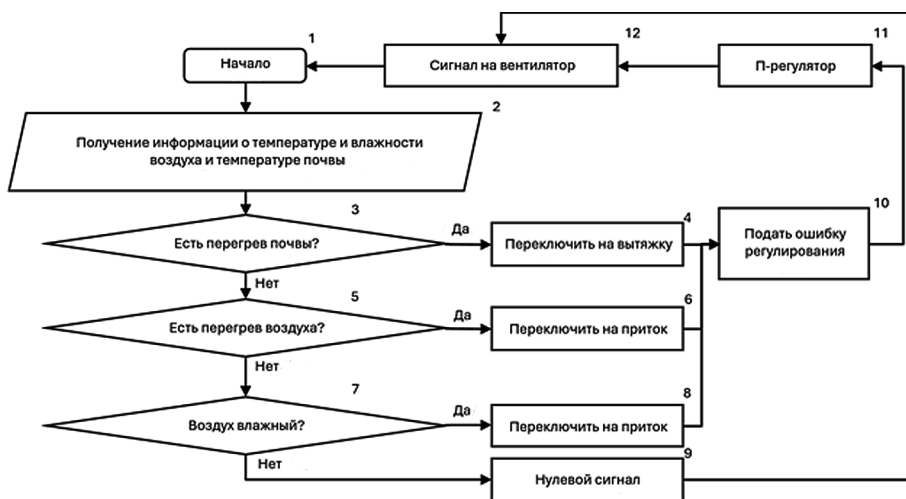
$$t_{\text{вкл}} = \frac{t_{\text{пер}}}{n} \cdot \text{clamp} \left(\text{roundDown} \left(\frac{|\varepsilon(t)|}{T_{\text{шаг}}}; n; 0 \right); \right), \quad (3)$$

где $t_{\text{вкл}}$ – продолжительность включения в ШИМ-периоде, с;

$t_{\text{пер}}$ – продолжительность ШИМ-периода, с;

n – количество ступеней регулирования;

Рисунок 4 – Блок-схема подпрограммы поддержания температуры и влажности воздуха



$\varepsilon(t)$ – ошибка регулирования температуры, °С;

$T_{\text{шаг}}$ – шаг изменения температуры, °С.

В данном уравнении используются две математические функции: clamp и roundDown. Clamp ограничивает первое выражение между верхним и нижним пределами – вторым и третьим выражением (в данном случае между n и 0). В свою очередь функция roundDown округляет выражение в меньшую сторону.

Из уравнения (3) можно определить время включенного состояния вентилятора на протяжении полного периода ШИМ, при этом регулирование времени происходит ступенчато, благодаря чему система управления вентилятором работает более надежно, так как отсутствуют моментальные переключения.

В качестве примера работы подпрограммы регулирования частоты вращения вала электродвигателя вентилятора приведен график зависимости длительности фазы включения электродвигателя в периоде от измеренной температуры (рис. 6).

График построен при продолжительности ШИМ-периода $t_{\text{пер}} = 10$ с, количестве ступеней регулирования $n = 5$, заданной температуре регулирования $T_3 = 28$ °С (что соответствует агрономическим рекомендациям по выращиванию теплолюбивых растений, например, амаранта или портулака) и шаге изменения температуры $T_{\text{шаг}} = 2$ °С.



Рисунок 6 – График зависимости длительности фазы включения в периоде от измеренной температуры

По представленному графику видно, что длительность работы вентилятора ступенчато изменяется от 0 % (длительности) периода ШИМ (0 с) до 100 % (10 с). С помощью данного алгоритма происходит изменение производительности вентилятора по пропорциональному закону регулирования температуры в камере фитотрона.

Выводы:

1. Проанализирована концепция разделения фитотрона на две камеры: камеру выращивания растений и камеру нагрева почвы. Согласно данной концепции, можно достаточно просто поддерживать более высокий уровень температуры в камере нагрева почвы по сравнению с температурой в камере выращивания растений, что положительно влияет на рост растений. Разработана система автоматического управления проветривающим вентилятором, влияющая на три основных параметра микроклимата разрабатываемого фитотрона: температуру почвы, температуру воздуха и влажность воздуха.

2. Разработана электрическая схема активной вентиляции на основе компьютерного вентилятора. Данная схема позволяет проветривать камеру роста растений в двух направлениях, что расширяет возможности автоматического поддержания температуры в обеих камерах. Рассчитаны рабочие параметры вентилятора при пониженном напряжении питания. При использовании данного рабочего режима система вентиляции имеет более мягкий характер регулирования, что важно при поддержании температуры в небольшом объеме фитотрона.

3. Разработана подпрограмма для реализации П-закона регулирования температуры при двоичном сигнале управления вентилятором, с помощью которой можно ступенчато изменять длительность работы вентилятора в периоде по аналогии с ШИМ-регулированием, что позволяет изменять в широких пределах производительность вентилятора, а также продлить срок службы пусковой системы за счет снижения частоты циклов включения и выключения.

Список источников

1. Адаев Н. Л., Исаева П. М., Амаева А. Г. Влияние уровня углекислого газа на урожайность томатов в условиях гидропоники // Особенности развития сельского хозяйства в Российской Федерации: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Грозный, 21 окт. 2022 г. Грозный: Чечен. гос. ун-т им. А. А. Кадырова, 2022. С. 103–108.
2. Глушко М. И., Ларина В. С., Герасименко М. Е. Влияние влажности воздуха на растения в разные периоды вегетации в условиях парника // Закономерности и тенденции инновационного развития общества: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Пермь, 25 авг. 2022 г. УФА: ООО «Аэтерна», 2022. С. 73–74.
3. Градиентный фитотрон / Мартиросян Ю. Ц., Мартиросян Л. Ю., Мартиросян Д. Ю., Аюбян В. Б. Патент на полезную модель RU 207773 U1 16.11.2021.

Заявка № 2020137207: заявл. 12.11.2020: опубл. 16.11.2021. Бюл. 32. 6 с.

4. Гусеников Е. Н., Юран С. И. Использование системы Arduino в фитотроне // Вестник НГИЭИ. 2025. № 4 (167). С. 52–70.

5. Гусеников Е. Н., Юран С. И. Концепт комбинированного устройства контролируемого выращивания растений для бытового применения // Современные тенденции технологического развития АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Десятилетию науки и технологий и 300-летию Рос. акад. наук. Ижевск: УдГАУ, 2023. С. 253–256.

6. Микропроцессорное управление и мониторинг состояния искусственных агроэкосистем в условиях закрытого грунта / Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ RU 2023611560 23.01.2023. Заявка № 2023610290: заявл. 10.01.2023: опубл. 23.01.2023. Бюл. 2. 1 с.

7. Полное и статическое давление вентиляторов [Электронный ресурс] // ООО «МВК». URL: <https://mvk77.ru/polnoe-i-staticheskoe-davlenie-ventilyatorov/> (дата обращения 22.04.2025).

8. Ракутько С. А., Ракутько Е. Н., Медведев Г. В. Разработка экспериментального фитотрона и его применение в исследованиях по энергоэкологии светокультуры // Сельскохозяйственные машины и технологии, 2023. Т. 17, № 2. С. 40–48.

9. Симица Д. В., Симица Д. В. Разработка биотехнологии получения экологически чистой микрозелени при выращивании в фитотроне городского типа // Форум. Серия: Роль науки и образования в современном информационном обществе, 2024. № S1-2(31). С. 88–93.

10. Способ и устройство генерирования информации об условиях роста растения и система мониторинга растения / Фу К., Жоу С., Хоу Е. Патент RU 2679052 05.02.2019. Заявка № 2018102709: заявл. 17.06.2016: опубл. 05.02.2019, Бюл. 4. 45 с.

11. Теоретические предпосылки создания управляемого микроклимата для выращивания овощных культур по малообъемной технологии в климатических камерах / Ю. Х. Шогенов [и др.] // Вестник НГИЭИ, 2022. № 4(131). С. 19–30.

12. Трусевич А. В., Клейменова В. А. Влияние принудительной вентиляции на формирование энтомоценоза в томатной теплице // Актуальные проблемы повышения эффективности агропромышленного комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 23–25 янв. 2008 г. Том Часть 1. Курск: Курск. гос. с.-х. акад. им. проф. И. И. Иванова, 2008. С. 236–239.

13. Фитотрон / Сапрыкин Л. Г., Гайдуков Е. Н., Сапрыкин Д. Л. Патент на полезную модель RU 134744 U1 27.11.2013. Заявка № 2013134391/13: заявл. 23.07.2013: опубл. 27.11.2013. Бюл. 3. 7 с.

14. Фитотрон с системой бесконтактного нагрева почвы в горшках / Юран С. И., Гусеников Е. Н. Патент на полезную модель RU 232987 U1 31.03.2025. Заявка № 2024130240: заявл.: 08.10.2024. Бюл. 10. 8 с.

15. Фитотрон энергосберегающий универсальный / Ю. И. Кидыко [и др.] // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии, 2013. № 4. С. 10–13.

16. Широотно-импульсная модуляция [Электронный ресурс] // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Широотно-импульсная_модуляция (дата обращения 22.04.2025).

17. BRUSHLESS DC FANS [Электронный ресурс] // Comair Rotron. URL: <https://www.comairrotron.com/article/brushless-dc-fans.html> (дата обращения 22.04.2025).

18. DC Axial Fan / Model No. S01138812H: Datasheet [Электронный ресурс]. // GLOBE Fan URL: <https://www.globefan.com/uploadfile/pdf/files/X0802512Y%2C%20X0802524Y.pdf> (дата обращения: 22.04.2025).

19. Five Things to Know About Airflow [Электронный ресурс] // Dr. Greenhouse, Inc. URL: <https://www.doctorgreenhouse.com/blog/five-things-to-know-about-airflow> (дата обращения 22.04.2025).

20. How are DC motors controlled? - Speed control of DC motors [Электронный ресурс] // ASPINA. URL: <https://us.aspina-group.com/en/learning-zone/columns/what-is/011/> (дата обращения 22.04.2025).

21. Understanding and Applying the 3 Basic Fan Laws [Электронный ресурс] // Eldridge. URL: <https://eldridgeusa.com/blog/understanding-and-applying-the-3-basic-fan-laws> (дата обращения 22.04.2025).

References

1. Adaev N. L., Isaeva P. M., Amaeva A. G. Vliyanie urovnya uglekislogo gaza na urozhajnost` tomatov v usloviyax gidroponiki // Osobennosti razvitiya sel'skogo khozyajstva v Rossijskoj Federacii: materialy` Vseros. nauch.-prakt. konf., Grozny`j, 21 okt. 2022 g. Grozny`j: Chechen. gos. un-t im. A. A. Kady`rova, 2022. S. 103–108.

2. Glushko M. I., Larina V. S., Gerasimenko M. E. Vliyanie vlazhnosti vozduxa na rasteniya v razny`e periody` vegetacii v usloviyax parnika // Zakonomernosti i tendencii innovacionnogo razvitiya obshhestva: sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Perm`, 25 avg. 2022 g. UFA: ООО «Ае`terna», 2022. S. 73–74.

3. Gradientny`j fitotron / Martirosyan Yu. Cz., Martirosyan L. Yu., Martirosyan D. Yu., Akopyan V. B. Patent na poleznuyu model` RU 207773 U1 16.11.2021. Zayavka № 2020137207: zayavl. 12.11.2020: opubl. 16.11.2021. Byul. 32. 6 s.

4. Gusennikov E. N., Yuran S. I. Ispol`zovanie sistemy` Arduino v fitotrone // Vestnik NGIE`I. 2025. № 4 (167). S. 52–70.

5. Gusennikov E. N., Yuran S. I. Koncept kombinirovannogo ustrojstva kontroliruемого vy`rashhivaniya rastenij dlya by`tovogo primeneniya // Sovremennye tendencii texnologicheskogo razvitiya APK: materialy` Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashhennoj Desyatiletiyu nauki i texnologij i 300-letiyu Ros. akad. nauk. Izhevsk: UdGAU, 2023. С. 253–256.

6. Mikroprocessornoe upravlenie i monitoring sostoyaniya iskusstvenny`x agro`ekosistem v usloviyax

zakry`togo grunta / Lebed` N. I., Tokarev K. E. Svid. o gos. reg. programmy` dlya E`VM RU 2023611560 23.01.2023. Zayavka№ 2023610290: zayavl. 10.01.2023: opubl. 23.01.2023. Byul. 2. 1 s.

7. Polnoe i staticheskoe davlenie ventilyatorov [E`lektronny`j resurs] // ООО «MVK». URL: <https://mvk77.ru/polnoe-i-staticheskoe-davlenie-ventilyatorov/> (data obrashheniya 22.04.2025).

8. Rakut`ko S. A., Rakut`ko E. N., Medvedev G. V. Razrabotka e`ksperimental`nogo fitotrona i ego primeneniye v issledovaniyax po e`nergoe`kologii svetokul`tury` // Sel'skoxozyajstvenny`e mashiny i texnologii, 2023. T. 17, № 2. S. 40–48.

9. Simina D. V., Simina D. V. Razrabotka biotexnologii polucheniya e`kologicheskij chistoj mikrozeleni pri vy`rashhivanii v fitotrone gorodskogo tipa // Forum. Seriya: Rol` nauki i obrazovaniya v sovremennom informacionnom obshhestve, 2024. № S1-2(31). S. 88–93.

10. Sposob i ustrojstvo generirovaniya informacii ob usloviyax rosta rasteniya i sistema monitoringa rasteniya / Fu K., Zhou S., Xou E. Patent RU 2679052 05.02.2019. Zayavka № 2018102709: zayavl. 17.06.2016: opubl. 05.02.2019, Byul. 4. 45 s.

11. Teoreticheskie predposylki sozdaniya upravlyae-mogo mikroklimata dlya vy`rashhivaniya ovoshhny`x kul`tur po maloob`emnoj texnologii v klimaticheskix kamerax / Yu. X. Shogenov [i dr.] // Vestnik NGIE`I, 2022. № 4(131). S. 19–30.

12. Trusevich A. V., Klejmenova V. A. Vliyanie prinuditel`noj ventilyacii na formirovanie e`ntomocenoza v tomatnoj teplice // Aktualny`e problemy` povysheniya e`ffektivnosti agropromyshlennogo kompleksa: materialy` Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Kursk, 23–25 yanv. 2008 g. Tom Chast` 1. Kursk: Kursk. gos. s.-x. akad. im. prof. I. I. Ivanova, 2008. S. 236–239.

13. Fitotron / Sapry`kin L. G., Gajdukov E. N., Sapry`kin D. L. Patent na poleznuyu model` RU 134744 U1 27.11.2013. Zayavka № 2013134391/13: zayavl. 23.07.2013: opubl. 27.11.2013. Byul. 3. 7 s.

14. Fitotron s sistemoy beskontaktnogo nagreva pochvy` v gorshkax / Yuran S. I., Gusennikov E. N. Patent na poleznuyu model` RU 232987 U1 31.03.2025. Zayavka № 2024130240: zayavl.: 08.10.2024. Byul. 10. 8 s.

15. Fitotron e`nergosberegayushhij universal`ny`j / Yu. I. Kidy`ko [i dr.] // Izvestiya Velikolukskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii, 2013. № 4. S. 10–13.

16. Shirotno-impul`snyaya modulyaciya [E`lektronny`j resurs] // Vikipediya. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Shirotno-impul`snyaya_modulyaciya (data obrashheniya 22.04.2025).

17. BRUSHLESS DC FANS [E`lektronny`j resurs] // Comair Rotron. URL: <https://www.comairrotron.com/article/brushless-dc-fans.html> (data obrashheniya 22.04.2025).

18. DC Axial Fan / Model No. S01138812H: Datasheet [E`lektronny`j resurs]. // GLOBE Fan URL: <https://www.globefan.com/uploadfile/pdf/X0802512Y%2C%20X0802524Y.pdf> (data obrashheniya: 22.04.2025).

19. Five Things to Know About Airflow [E`lektronny`j resurs] // Dr. Greenhouse, Inc. URL: <https://www.doctorgreenhouse.com/blog/five-things-to-know-about-airflow> (data obrashheniya 22.04.2025).

20. How are DC motors controlled? - Speed control of DC motors [E`lektronny`j resurs] // ASPINA. URL: <https://us.aspina-group.com/en/learning-zone/columns/what-is/011/> (data obrashheniya 22.04.2025).

21. Understanding and Applying the 3 Basic Fan Laws [E`lektronny`j resurs] // Eldridge. URL: <https://eldridgeusa.com/blog/understanding-and-applying-the-3-basic-fan-laws> (data obrashheniya 22.04.2025).

Сведения об авторах:

Е. Н. Гусеников[✉], аспирант, <https://orcid.org/0009-0003-0723-4221>;

С. И. Юран, доктор технических наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0003-0440-0012>

Удмуртский ГАУ, 426069, Россия, Ижевск, ул. Студенческая, 11

ujhuf99@gmail.com

Original article

DESIGN OF ACTIVE VENTILATION IN A PHYTOTRON CHAMBER

Evgeniy N. Gusennikov[✉], **Sergey I. Yuran**

Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia

ujhuf99@gmail.com

Abstract. *A phytotron is a unit designed to conduct experiments on growing plants under strictly controlled conditions. In the case of developing a household phytotron, the primary factor for controlling the microclimate through ventilation is the air temperature within the chamber. When designing a phytotron with unique design solutions, it is necessary to conduct an individual technical analysis of ventilation. This research aims to obtain a design solution for the ventilation system for the phytotron under development. To achieve this goal, the following tasks were set and completed: developing a ventilation design methodology and designing a ventilation system for the device being developed. An analysis of the concept of dividing the phytotron into two chambers was conducted: a plant growing chamber and a soil heating chamber. Simplified air flows passing through the phytotron chambers*

were described and analyzed. The S01138812H fan was selected as the ventilation equipment. An electrical circuit for an active ventilation system based on a computer fan was developed. The operating parameters of the fan were calculated based on agronomic recommendations for ventilation design. The calculated operating mode relative to the nominal mode allows for a softer regulation of the temperature level in the phytotron chamber. A generalized block diagram of the automatic ventilation system was considered and the necessary technical equipment for its implementation was described. A logical block diagram of the subroutine for automatic control of the ventilation fan for maintaining the temperature mode in the phytotron chamber was presented. A logical block diagram of the subroutine for implementing the P-law of temperature control with a binary fan control signal has also been developed. This system efficiently regulates the fan performance, which in the nominal mode significantly exceeds the recommended one.

Key words: phytotron, active ventilation, fan, automated system, temperature control, protected ground.

For citation: Gusennikov E. N., Yuran S. I. Design of active ventilation in a phytotron chamber. The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2026; 1 (85): 158-166. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2026_1_158-166.

Authors:

E. N. Gusennikov[✉], Postgraduate student, <https://orcid.org/0009-0003-0723-4221>;

S. I. Yuran, Doctor of Technical Sciences, Professor; <https://orcid.org/0000-0003-0440-0012>

Udmurt State Agricultural University, 11 Studencheskaya St., Izhevsk, Russia, 426069

ujhuf99@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.10.2025; одобрена после рецензирования 28.01.2026; принята к публикации 03.03.2026.

The article was submitted 23.10.2025; approved after reviewing 28.01.2026; accepted for publication 03.03.2026.

Научная статья

УДК [631.544.45:628.8]:004.94

DOI 10.48012/1817-5457_2026_1_166-173

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ НАГРЕВА ФИТОТРОНА

Гусенников Евгений Николаевич[✉], Юран Сергей Иосифович

Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия

ujhuf99@gmail.com

Аннотация. Эффективность работы системы нагрева фитотрона напрямую влияет на параметры микроклимата, физиологическое состояние растений и воспроизводимость экспериментальных результатов. В связи с этим актуальной является экспериментальная проверка разработанных теоретических моделей, позволяющая подтвердить корректность описания тепловых процессов и обоснованность их применения при проектировании, корректировке и модернизации фитотронов. Цель исследования: подтвердить способность разработанных теоретических моделей, корректно описывать тепловые процессы в камере фитотрона. Исследование выполнено на основе разработанного многопрофильного компактного фитотрона. Проведена проверка математической модели динамики нагрева воздуха, модели распределения температурного поля и компьютерной модели поддержания заданной температуры воздуха и субстрата, реализованной в программном комплексе Comsol Multiphysics. Теоретические модели основаны на описании естественной конвекции нагретого воздуха, определяемой по уравнению Бернулли, и методе разделения переменных для решения дифференциального уравнения энергии воздушного потока. Экспериментальная проверка включала два режима: высокотемпературный (37 °С для воздуха и 42 °С для субстрата) и низкотемпературный (22 °С для воздуха и 27 °С для субстрата). Оценка корректности моделей проводилась путем сравнения экспериментальных и расчетных данных. В исходных вариантах моделей зафиксированы значительные отклонения от экспериментальных данных, обусловленные несоответствием вводных параметров реальной конструкции и условий эксперимента.