

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 631.589.2

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-3-298-38-40

И. В. Александров, И. С. Алексеев, И. В. Волков, А. М. Макаров

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ АЭРОПОННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: koln4304@gmail.com, alexivn01@gmail.com,
viv.vstu@gmail.com, amm34@mail.ru

Проведено исследование основных параметров микроклимата, а именно совокупность условий, которые влияют на рост и развитие растений в автоматизированной установке аэропонного выращивания. Представлено описание основных параметров микроклимата, описаны основные способы распыления жидкости, представлена схема процесса распыления, а также математическое описание данного процесса.

Ключевые слова: аэропонная установка, автоматизация, управление, микроклимат, распыление, питательный раствор

I. V. Alexandrov, I. S. Alekseev, I. V. Volkov, A. M. Makarov

INVESTIGATION OF MICROCLIMATE PARAMETERS OF AN AUTOMATED AEROPONIC PLANT GROWING FACILITY

Volgograd State Technical University

The main parameters of the microclimate have been studied, namely, the set of conditions that affect the growth and development of plants in an automated aeroponic cultivation unit. The main parameters of the microclimate are described, the main methods of liquid spraying are described, the scheme of the spraying process is presented, as well as a mathematical description of this process.

Keywords: aeroponic device, automation, control, microclimate, spraying, nutrient solution

Аэропоника – метод выращивания растений без почвы, при котором корни увлажняются питательным аэрозолем, что оптимизирует потребление воды и питательных веществ. Микроклимат влияет на продуктивность аэропоники: температура, влажность, CO₂ и освещенность обеспечивают фотосинтез и транспирацию. Отклонения от нормы вызывают стресс у растений, снижая урожайность, поэтому автоматизированный контроль важен.

Основные параметры микроклимата в аэропонике включают:

1. Температура – поддерживает оптимальные условия для метаболизма растений.
2. Влажность – влияет на транспирацию и предотвращает пересыхание корней.

3. Концентрация углекислого газа (CO₂) – стимулирует фотосинтез и ускоряет рост.

4. Освещенность – определяет интенсивность фотосинтетических процессов.

5. Скорость потока воздуха – обеспечивает вентиляцию, предотвращая застой и перегрев.

Эти параметры должны быть строго контролируемы для достижения максимальной продуктивности растений.

Температура является одним из основных параметров, влияющих на рост и развитие растений. Температура воздуха должна быть 20–26 °C для большинства культур. Температура раствора 18–22 °C для предотвращения перегрева корней и поддержания оптимальной доступности кислорода в растворе. Слишком теп-

лый питательный раствор подходит не для всех культур, часто вызывает стресс и перегрев растений, увядание листьев, сброс плодов, усиленное размножение грибов, бактерий и насекомых-вредителей. При температуре раствора выше +22 °С в воде уровень кислорода падает ниже 8 % и начинается процесс испарения раствора, что приводит к увеличению концентрации питательных веществ.

Перегрев устраняют чиллеры и охладители.

Холодный раствор (<18 °С) замедляет рост и ухудшает усвоение питательных веществ.

Для решения проблемы используют утеплители труб и резервуаров, электрические нагреватели, газовые котлы и теплообменники [1].

Испарение воды из корней может быть рассчитано по формуле:

$$E = k \cdot (T_a - T_r),$$

где E – скорость испарения воды, T_a – температура воздуха, T_r – температура раствора, k – коэффициент, зависящий от влажности воздуха и характеристик корней.

Эта формула демонстрирует, как разница температур между воздухом и раствором влияет на испарение воды с корней. Например, при увеличении разницы ($T_a - T_r$) испарение усиливается, что требует усиленного контроля влажности и регулярного увлажнения корней.

Выделяют следующие способы распыления жидкости (рис. 1): гидравлическое, механическое, пневматическое, пульсационное, ультразвуковое и электрическое распыление. Для механического распыления применяется струйная форсунка, которая преобразует жидкую струю в мелкие капли, обеспечивая эффективное распыление.

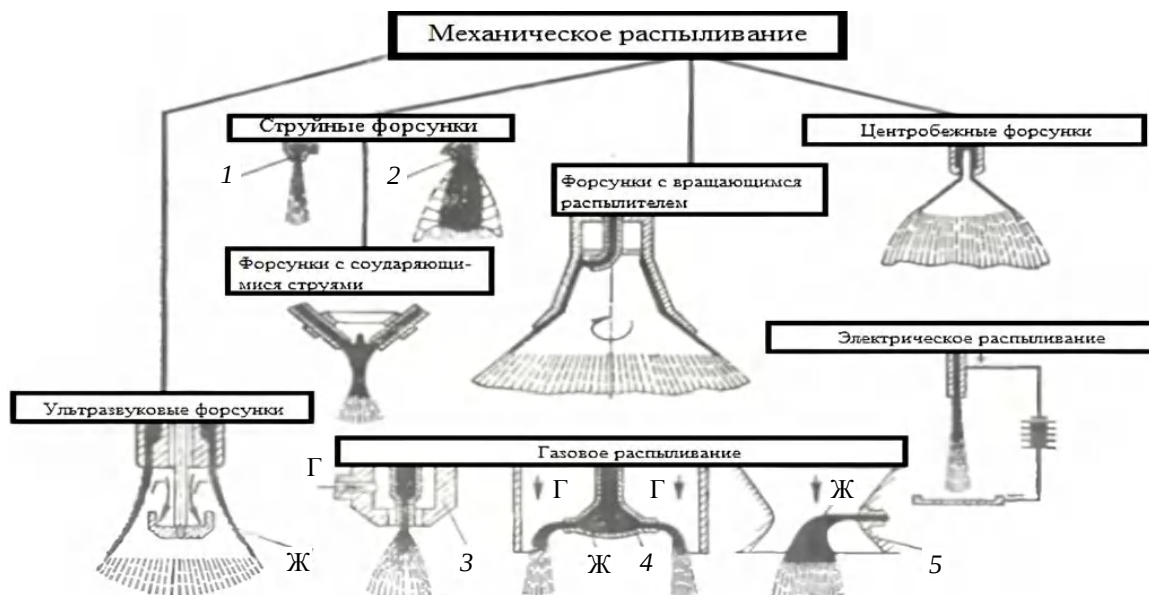


Рис. 1. Классификация способов распыления:
1 – цилиндрическое сопло; 2 – щелевое сопло; 3 – распылитель при соосных потоках жидкостей и газа; 4 и 5 – распылители при подаче жидкости под прямым углом к воздушному потоку; Г – газ; Ж – жидкость

Распыление (рис. 2) происходит, когда струя жидкости разбивается капли. Идеальный спрей состоит из капель одинакового диаметра. Методы распыления можно разделить на гидравлическое распыление и пневматическое распыление. В зависимости от конструкции форсунки или конструкции выходного отверстия форсунки получают различные формы распыления.

При гидравлическом распылении давление нагнетания разгоняет жидкость, превращая ее в капли. Проходя через распылительное устройство, поток жидкой фазы приобретает высокую скорость и преобразуется в форму, способст-

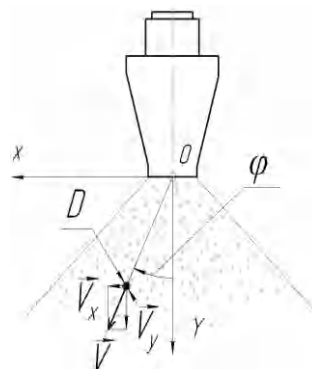


Рис. 2. Расчетная схема процесса распыления жидкости

вующую быстрому и эффективному распаду. В струйных форсунках жидкость аэродинамически разбивается на капли.

В случае образования дисперсной системы потока капель фазовый объем задается совокупностью составляющих случайной скорости центра масс капли v_x , v_y и ее диаметра D , т. е. выделенному набору переменных, характеризующих механизм образования разреженного факела.

$$d\Gamma = dv dD. \quad (2)$$

Согласно исследованию В. А. Бородин [5], распределение числа частиц dN в элементе фазового объема экспоненциально убывает в зависимости от стохастической энергии частицы E :

$$dN = A \exp(-E / E_0) d\Gamma, \quad (3)$$

В случае образования разреженного потока капель стохастическую энергию представляют в виде трех составляющих – кинетической, поверхностной и энергии пульсационного движения, связанной с расширением потока.

$$E = \frac{mv_y^2}{2} + \pi D^2 \sigma + \frac{mv_y^2 \tan^2(\varphi)}{2}, \quad (4)$$

где φ – угол рассеивания частиц; σ – коэффициент поверхностного натяжения, $\sigma = 0,073$ Н/м (для воды при $0 \leq T \leq 20$ °С).

Нормировочное соотношение

$$N = \int_{\Gamma} dN \quad (5)$$

соответствует балансу массы в системе струя-поток и позволяет определить свободный параметр распределения A в выражении (3).

Экспериментальные исследования показывают, что распадающийся Факел жидкости распадается на капли разного размера, дисперсность оценивают функциями распределения.

Согласно выбранному распределению числа частиц в элементе фазового объема $d\Gamma$, можно получить дифференциальную функцию распределения элементов потока жидкости по углу рассеивания в фазовом объеме:

$$d\Gamma' = dv dD. \quad (6)$$

Дифференциальные функции распределения элементов потока по углам рассеивания φ задаются выражением:

$$f(\varphi) = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{d\varphi}. \quad (7)$$

Параметр E_0 , соответствующий обобщенной мере энергии потока образующихся капель в выражении (3), можно найти из уравнения энергетического баланса, составленного для момента выхода частиц из сопла форсунки:

$$E = E_{\text{ст}}. \quad (8)$$

Здесь $E_{\text{ст}}$ – энергия струи жидкости движущейся в сопле форсунки, E – энергия образованного разреженного потока капель из (3).

Уравнение энергетического баланса в элементе фазового объема будет иметь вид:

$$Nm v_{\text{ст}}^2 = \int_{\Gamma} (mv_y^2 + \pi D^2 \sigma + mv_y^2 \frac{\tan^2(\varphi)}{2}) dN. \quad (9)$$

При сравнении экспериментальных и расчетных данных незначительное расхождение теории с экспериментом объясняется тем, что опытные данные получены на некотором удалении от форсунки, а выражение (4) отражает распределение, описывающее систему капель в момент их образования. Поэтому различие этих распределений указывает на то, что в процессе движения факела происходит влияние турбулентных воздушных потоков. Причем сопоставление теоретического и опытного распределений позволяет количественно и качественно оценить важность указанного процесса. Зависимость $f(\varphi)$ в дальнейшем может быть использована при создании инженерных методов расчета аппаратов, работающих на принципе распыления жидких сред, в том числе форсунок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агро-эксим. Поддержание температуры раствора при гидропонном способе выращивания // Агро-эксим : [сайт]. – URL: <https://agro-exim.com/ru/news/podderzhanie-temperatury-rastvora-pri-gidropnom-sposobe-vyrashivaniya/> (дата обращения: 16.11.2024).
2. Пат. RU 2 038 006 C1, МПК A01G 31/02. Растворный узел для приготовления и подачи питательного раствора / Сотников А. Л., Липницкий Л. А., Лубанов А. Г.; заявитель и патентообладатель Белорусский аграрный технический университет. – № 502840/15; заявл. 24.02.1992; опубл. 27.06.1995.
3. Павлов, А. В. Экспериментальное исследование работ жидкостно-газового эжектора / А. В. Павлов, С. В. Кац // Известия ВолГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1 (104) / ВолГТУ. – Волгоград, 2013. – С. 5–8.
4. Волков, И. В. Бесконтактное измерение малых расходов жидкости / Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (Москва) / И. В. Волков, В. П. Заярный, А. М. Макаров, Н. В. Кобзев // Измерительная техника. – 2014. – № 7. – С. 35–37.
5. Бородин, А. В. Барисинтез многомерного изоспектрального уравнения Шредингера / А. В. Бородин // Математика и естественные науки. Теория и практика : межвуз. сб. науч. тр. – 2019. – Т. 14. – С. 6–22. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://elibrary.ru/> (дата обращения: 17.11.2024).
6. Пат. RU 143696 U1, МПК A01G 31/02. Шлюзовая аэропонная колонна / Волков И. В., Макаров А. М., Василькова Л. А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолГТУ). – № 2014105026/13; заявл. 11.02.2014; опубл. 27.07.2014.