1. **Галиуллин Рустам Рифович**, доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения и автоматизации технологических процессов, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, 50-летия Октября, 34, тел.: +7 (347) 278-59-48, e-mail: rustam6274@mail.ru.

2. **Аипов Рустам Сагитович**, доктор технических наук, профессор кафедры электрических машин и электрооборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, 50-летия Октября, 34, тел.: +7 (347) 228-36-55, e-mail: aipovrs@mail.ru.

3. **Яруллин Ринат Бариевич**, доктор технических наук, профессор кафедры электрических машин и электрооборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, 50-летия Октября, 34, тел.: +7 (347) 228-36-55, e-mail: jarullin_rb@mail.ru.

Описано преимущество светодиодных светильников перед традиционными источниками облучения растений. Предложено аналитическое выражение, описывающее взаимосвязь между характеристиками светодиодного светильника и параметрами растений – рост стебля

и биомасса, а также позволяющее идентифицировать фазу развития растений, что является важным при создании автоматизированных энергосберегающих облучательных светодиодных установок для тепличных хозяйств.

R. Galiullin, R. Aipov, R. Yarullin

EFFICIENCY OF PLANT IRRADIATION IN PROTECTED GROUND STRUCTURES

Key words: *protected ground structures; LED lamps; HPS lamps; irradiation facility; spectral composition; vegetation cycle; differential and integrated energy capacities; biomass; weight coefficient; efficiency.*

Authors' personal details

1. **Galiullin Rustam**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Power Supply and Process Automation Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 450001, Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34, e-mail: rustam6274@mail.ru.

2. **Aipov Rustam**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Electric Machines and Equipment Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 450001, Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34, e-mail: aipovrs@mail.ru.

3. **Yarullin Rinat**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Electric Machines and Equipment Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 450001, Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34, e-mail: jarullin_rb@mail.ru.

The advantage of LED lamps over conventional means of plant irradiation is described. An analytic expression is proposed to determine the relationship between LED lamp characteristics and plant param-

eters such as the stem growth and biomass. The formula also identifies the plant growth phase, which is crucial in development of automated energy-saving LED irradiation facilities for greenhouses.

© Галиуллин Р.Р., Аипов Р.С., Яруллин Р.Б.

УДК 621.321

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-52-4-105-111

Р.Р. Галиуллин, Р.Б. Яруллин, И.Р. Кафиев

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ В СООРУЖЕНИЯХ ЗАЩИЩЁННОГО ГРУНТА

Ключевые слова: *оптимизация; процесс облучения; светодиодная облучательная установка; микропроцессорные технологии; энергоёмкость; солнечная радиация; алгоритм управления; стоимость электроэнергии.*

Введение. Оптимизация режимов облучения растений представляет собой весьма важ-

ную задачу, особенно в сооружениях защищённого грунта. Решение задачи требует детальной

проработки вопросов регулирования режимов облучения растений и на основе этого разработку алгоритмов оптимизации как для облучения, так и для режимов формирования культур, а также усовершенствование аппаратного обеспечения путём создания светодиодных облучательных установок, обеспечивающих требуемые характеристики излучения и системы управления ими на основе микропроцессорных контроллеров. Использование гибких в управлении облучательных установок на основе современных цифровых технологий, в частности микропроцессорных, может дать качественный скачок в решении стратегической задачи энергосбережения в сооружениях защищённого грунта [6].

Управление процессом формирования урожая и в соответствии с этим удлинение или сокращение онтогенеза растений могут достигаться облучением растения различными по спектру источниками, например, светодиодными, обеспечивая гибкость изменения дозы облучения каждым спектром – красным, синим – и уменьшение потребления электрической энергии, что в итоге повысит энергоэффективность технологического процесса [2]. При этом количественным показателем такого процесса может являться удельная энергоёмкость, показывающая физический расход энергетических ресурсов на выпуск единицы продукции. Однако этот показатель определяется в конце цикла технологического процесса, относится к так называемым статическим показателям и не может быть использован для оптимизации энергоэффективности в ходе процесса. Поэтому важным показателем для потребителей является стоимость данных расходов, в связи с чем целесообразно рассматривать и экономическую энергоёмкость, т. е. стоимость затраченных энергоресурсов на выпуск единицы продукции [5, 7].

Наибольшее влияние на формирование самой культуры оказывают факторы, определяющие режим облучения растений в теплице, – скорость облучения растений, солнечная радиация и ценовые категории электроэнергии.

Цель исследования – повышение эффективности процесса облучения растений путём разработки алгоритма оптимизации спектрального состава.

Условия, материалы и методы исследования. Для проведения экспериментальных исследований собрана облучательная установка на базе светодиодов и микропроцессорная система управления. Для измерения излучения в видимой области в поддиапазоне 400–790 нм и определения облучённости использовался стандартный спектрофотометр.

В качестве исследуемого растения был выбран генетически чистый семенной картофель сорта Ред Скарлет, выращенный меристемным способом. Выращивание растений производилось в воздушной среде без использования почвы, при котором питательные вещества к корням растений доставлялись в виде аэрозоля. Температура в помещении, где проводились исследования, поддерживалась в среднем на уровне 24 °С.

Результаты исследований. Повышению эффективности облучения растений в большей степени способствует облучение с учётом естественной радиации через прозрачное покрытие сооружения защищённого грунта. При этом удельная мощность естественной радиации может быть записана в виде

$$Wr = f \cdot k \cdot R, \quad (1)$$

где f – коэффициент, учитывающий долю фотосинтетической активной радиации в суммарной интегральной естественной радиации; k – коэффициент запаса естественного радиационного режима; R – интенсивность естественной радиации.

Оптимизация режимов облучения растений, в частности картофеля, достигается путём поиска фрагментов фотопериода во времени, при котором удовлетворяется потребность в суточной дозе облучения с учётом солнечной радиации и обеспечивается минимальная стоимость потребляемой энергии [7]. В этом случае критерий оптимальности можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned} E_c &= \sum_{i=1}^t (R_c(i) + R_n(i)) \Delta t \geq E_n, \\ C_3 &= \sum_{i=1}^{T_\Phi} S_n(i, E_c) \cdot \Delta t \cdot T_3(i) \Rightarrow \min, \\ t_\Phi &= \sum_{i=1}^n \Delta t(i), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где E_c , E_n – фактическая и нормированная дозы облучения растения, Вт·ч/м²; $R_c(i)$, $R_n(i)$ – удельная интенсивность естественного и искусственного облучения растения на i -м часе фотопериода, Вт/м²; Δt – значение временного интервала; $S_n(i)$ – электрическая мощность, затраченная на искусственное облучение растения на i -м часе фотопериода, Вт; $C_3(i)$ – стоимость электроэнергии за время полного фотопериода, руб.; $T_3(i)$ – тариф электроэнергии на i -м часе фотопериода; $i = 1, 2, 3, \dots; n$ – номер фрагмента фотопериода; t_Φ – полное время фотопериода, час.

Система уравнений (2) позволяет определить стоимость электроэнергии и выбрать оптимальный его тариф с учётом суточной дозы облучения растений.

За параметры, определяющие рост растений, приняты длина и диаметр стебля. При этом весь цикл роста и развития растений разделялся на две части: вегетативный и генеративный. В первом случае осуществляется рост стебля, во втором – репродуктивных органов – плодов.

В алгоритме оптимизации при определении отношения длины стебля к диаметру задаются граничные условия, чтобы в дальнейшем в расчётах учитывать чрезмерные удлинение или тонкость стебля и таким образом сравнить с заданным значением.

Алгоритм оптимизации облучения в процессе роста растения в вегетативной фазе представлен на рисунке 1.

Идентификация стадии развития растения в алгоритме достигается путём использования энергоёмкости роста растений [6]:

- дифференциальной $w_i(t) = \frac{S}{M(t)} \cdot t \rightarrow \min$,
- интегральной $w_a(t) = \frac{S}{\Delta M(t)} \Delta t \rightarrow \min$.

Здесь S – мощность, Вт; $M(t)$ – биомасса растения, г.

Выход биомассы растения [7] может определяться по выражению

$$M_{\text{раст}}(t, \varpi) = N_0 \cdot m_m \cdot e^{\lambda \cdot \mu \cdot t} + r \cdot N_0 \cdot m_g \cdot f \cdot e^{\frac{\mu}{S} \left(\frac{C}{\mu} \right)^{\lambda \cdot \frac{\mu}{C-1}}} \cdot e^{\lambda \cdot \mu \cdot t}, \quad (3)$$

где N_0 – количество меристемных клеток растения в начальный времени, шт.; m_m – масса меристемных клеток растения, г; m_g – масса вегетативных клеток растений в начальный момент времени, г; λ – коэффициент, показывающий распределение между клетками растения; μ – удельная скорость роста растений, сутки⁻¹; t – время, сутки; f – коэффициент увеличения вегетативных клеток растения; C – показатель старения растения, сутки⁻¹; r – неполная гамма-функция.

В выражении 3 удельная скорость роста растений μ зависит от биомассы листа, общей облучённости, концентрации углекислого газа и весового коэффициента заданного спектрального состава облучения, учитывающего его биологическую значимость [7].

По характерным изменениям дифференциальной и интегральной энергоёмкости можно определить время фазовых переходов растений, которое является одним из важных показателей при регулировании спектрального состава.

На рисунке 2 представлены зависимости интегральной и дифференциальной энергоёмкости от времени, полученные расчётным путём.

Рисунок 1

Алгоритм оптимизации излучения светодиодным светильником в вегетативной фазе роста растения

Как видно из рисунка 2, динамика роста растений существенно коррелирует с энергоёмкостями, где заметно прослеживается время фазо-

вых переходов растений. Так, например, время, когда дифференциальная энергоёмкость имеет минимальное значение, соответствует началу

этапа вегетативной фазы (на рисунке 25 сутки), в котором рост растений замедляется, и они становятся более восприимчивы к спектральному составу излучения и дозе облучения. Учитывая радиационный режим на стадии роста растений, корректировку спектра излучения следует выполнить с учётом специфики поглощения излучения, в частности повысить мощность зелёной составляющей спектра и ослабить мощность синей. Интегральная энергоёмкость имеет минимальное значение, которое достигается в точке созревания (на рисунке 55 сутки) с переходом на генеративную фазу, что свидетельствует о прекращении роста растений. Затрат энергии на развитие вегетативной части растений более не требуется, следовательно, можно сократить фотопериод досветки уменьшением мощности искусственного облучения.

Результаты оптимизации процесса облучения растений фрагментацией фотопериода во времени представлены на рисунке 3.

Рисунок 2
Зависимости интегральной (1) и дифференциальной (2) энергоёмкости от времени при использовании светодиодного светильника

На этом рисунке наглядно прослеживается повышение эффективности облучения и снижение стоимости затраченной электроэнергии при оптимизации. Так, например, после оптимизации процесса облучения растений фрагмента-

цией фотопериода во времени стоимость затраченной электроэнергии снизилась на 6,3 усл. ед. (2,8 %). При этом доза облучения повысилась на 2,7 усл. ед. (2,7 %). Таким образом, оптимизированный сценарий облучения растений позволяет компенсировать затраты на электроэнергию и повысить суточную дозу облучения.

В предлагаемом алгоритме оптимизации облучения растений фактическое значение расхода электроэнергии и показатели производительности используются для определения дифференциальной и интегральной энергоёмкости. Полученные данные энергоёмкости совместно с данными блока определения дозы облучения передаются в блок формирования облучения для корректировки параметров циклограммы облучения.

Оптимизация спектрального состава облучения выполняется в вегетативной фазе роста в период активного и непрерывного роста растений. Для реализации данного алгоритма единственным подходящим источником является использование светодиодного светильника, в связи с чем необходимо определить спектральный состав, мощность и количество светодиодов в нем.

При реализации алгоритма учтено, что коэффициент поглощения лучистой энергии для зелёных листьев в зелёной области спектра в среднем в 2,5 раза меньше, чем для синего и красного, и в утолщённом ценозе поглощение компонента облучения в зелёной области спектра по эффективности сравнимо с синей и красной полосами спектра [5]. Красный свет спектром 600–780 нм обеспечивает высокий ростовой эффект, синий – 400–500 нм – формирует утолщённые короткие стебли, но при этом процесс фотосинтеза протекает наиболее интенсивно. Облучение растений светом в зелёной области спектра 530–540 нм способствует формированию тонких листьев с меньшим числом клеток и хлоропластов и самым низким фотосинтезом на единицу площади листа, но в расчёте на хлоропласт достигается самый высокий фотосинтез.

Рисунок 3
Фрагментация графика облучения растений (а) и суточные графики после оптимизации с нарастающим итогом (б)

В растениях, выращиваемых под красным или синим светом, встречаются изменения метаболизма углерода, происходящие за малый промежуток времени экспозиции. Добавление синего света способствует активации углекислого газа в органические кислоты, а красный – в углеводы и крахмал. Следует отметить, что присутствие в составе спектра облучения синего света предохраняет аппарат фотосинтеза от быстрого старения, что благоприятно влияет на урожайность культуры. При этом наличие и доля красных лучей должны обосновываться с учётом видовой специфики растений.

Эффективный фотосинтез при 670 нм может быть обеспечен путём введения более мягкой синей составляющей излучения и расширения спектральной полосы в жёлто-красном участке добавлением в состав светильника тёплого белого света и ультрафиолетового излучения до 10 % с длиной волны 380 нм [7].

Зелёные светодиоды характеризуются обычно относительно высокой стоимостью, поэтому, учитывая регулируемость спектральной составляющей облучательной установки, можно отказаться от чисто зелёного спектра. Следовательно, энергия в этой области спектра может достигаться использованием светодиода белого цвета. Это в итоге позволит снизить себестоимость применяемых для облучения светодиодных светильников.

В предлагаемом алгоритме принят тарифный план по электроэнергии, соответствующий одноставочному тарифу, дифференцированному по зонам суток. Суточная доза облучения реализуется путём искусственного облучения с учётом энергии солнечной радиации. При этом минимум стоимости электрической энергии принимается за критерий оптимальности графика фотопериода.

Исследования показывают, и другими авторами подтверждается [13], что при кратковременном облучении растений не прослеживаются изменения, влияющие на структуру и функции фотосинтетического аппарата. Однако при длительном, например, многочасовом или многосуточном воздействии на растения излучением определённого спектра и интенсивности изменения в структуре и функциях фотосинтетического аппарата могут быть настолько сильными, что изменяется спектральная эффективность. Это в основном зависит от взаимодействия быстрых и медленных фоторегуляционных реакций, связанных с особенностями формирова-

ния фотосинтетического аппарата, морфогенеза, роста и развития растений, а также с другими процессами, медленно протекающими в организме растения.

Следует отметить, что при оптимизации процесса облучения растений должен быть учтён и подобран правильный угол падения направленного излучения. Это объясняется в основном влиянием коэффициента отражения излучения и степени пропускания. Так, например, в [8] была отмечена эффективность бокового освещения по сравнению с освещением сверху, так как оно более объёмное и лучше распределяется по ассимилирующей поверхности фитоценоза. Кроме того, диффузный свет более эффективен, чем прямой [8]. Угол падения направленного излучения на технологическую поверхность влияет на способы улучшения пространственного светораспределения и градиента освещённости по высоте растений. Исследования показывают, что отклонение угла падения света на 40–50 град снижает коэффициент поглощения примерно на 5–7 %. Это можно объяснить увеличением коэффициента отражения и уменьшением степени пропускания растением облучения.

Выводы. Оптимизация процесса облучения растений путём фрагментации фотопериода растений с учётом стоимости электроэнергии и суточной дозы облучения, солнечной радиации в соответствии с алгоритмом оптимизации может существенно снизить затраты электроэнергии и повысить суточную дозу облучения. Так, например, оптимизация процесса облучения растений фрагментацией фотопериода во времени позволила снизить стоимость затраченной электроэнергии на 2,8 % и повысить дозу облучения на 2,7 %. Таким образом, оптимизированный сценарий облучения растений позволяет компенсировать затраты на электроэнергию и повысить суточную дозу облучения.

Для выращивания растений в сооружениях защищенного грунта требуется наличие облучательной установки с светодиодами как минимум с тремя полосами спектра: синим, зелёным и красным. Для оптимального сочетания показателей вегетативного роста, генеративного развития, вкусовых качеств и возможности адаптации спектра и интенсивности излучения к растениям различных видов и сортов желательнее использовать светодиодный светильник с пятиполосным спектром: ультрафиолетовый, синий, красный, красный дальний и тёплый белый.

Библиографический список

1. Аверчева, О.В. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при вы-

ращивании под светодиодными светильниками [Текст] / О.В. Аверчева, Ю.А. Беркович,

А.Н. Ерохин, Т.В. Жигалова, С.И. Погосян, С.О. Смолянина // Физиология растений. 2009. Т. 56. № 1. С. 17–26.

2. Валеев, Р.А. Светодиодные облучательные установки для меристемных растений [Текст] / Р.А. Валеев, Н.П. Кондратьева, Р.Г. Кондратьев // Известия Международной академии аграрного образования (МАОО). 2013. Выпуск № 16. Том 1. С. 23–25.

3. Васильева, Е.Д. Некоторые закономерности деградации синих светодиодов на основе InGaN/GaN [Текст] / Е.Д. Васильева, А.Л. Заггейм, Ф.М. Снегов, А.Е. Черняков, Н.М. Шмидт, Е.Б. Якимов // Светотехника. 2007. № 5. С. 30–32.

4. Гладин, Д.В. Использование светодиодных технологий в сельском хозяйстве [Текст] / Д.В. Гладин // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 2. С. 60–65.

5. Ермаков, О.Н. Светоизлучающие диоды зелёного цвета свечения с повышенной температурной стабильностью потока излучения [Текст] / О.Н. Ермаков, В.Ф. Аксёнов, Р.С. Игнаткина // Фотометрия и ее метрологическое обеспечение. Тез. докл. на IV всесоюз. конф. М., 1982. 103 с.

6. Каримов, И.И. Эффективность использования светодиодных светильников в тепличных хозяйствах [Текст] / Р.Р. Галиуллин, И.И. Каримов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. Уфа: Уфимский государственный университет экономики и сервиса, 2016. С. 34–39.

7. Галиуллин, Р.Р. Разработка и исследование энергосберегающей автоматизированной системы освещения теплицы на основе светодиодных технологий [Текст] / Р.Р. Галиуллин,

С.М. Яковлев, И.И. Каримов и др. // Отчет по научно-исследовательской работе. Уфа: Башкирский ГАУ, 2014. 97 с.

8. Леман, В.М. Курс светокультуры растений [Текст] / В.М. Леман. Москва: Высшая школа, 1976. 272 с.

9. Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады НТП 10-95 [Текст] / МСХиП РФ. 23.08.2006.

10. Ракутько, С.А. Метод оценки энергоэффективности фотосинтеза в светокультуре с позиций прикладной теории энергосбережения [Текст] / С.А. Ракутько, Е.Н. Ракутько // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства: сб. науч. трудов ИАЭП, 2015. Вып. 86. С. 168–181.

11. Соколов, А.В. Обоснование параметров и разработка широкополосной системы освещения растений в защищённом грунте с резонансным электропитанием [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Соколов. М., 2015. 125 с.

12. Свод правил СП 107.13330.2012 [Текст] / Теплицы и Парники МРР РФ. 01.01.2013.

13. Тихомиров, А.А. Светокультура растений [Текст]: учебное пособие / А.А. Тихомиров, В.П. Шарупич, Г.М. Лисовский. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд. АН, 2000. 213 с.

14. Фокин, А.А. Особенности расчёта мощности излучения светодиодных систем электродосвечивания для теплиц [Текст] / А.А. Фокин // Инновационные технологии производства, хранения и переработки плодов и ягод. Материалы научно-практической конференции. Мичуринск – Научоград, 2009. С. 207–209.

Сведения об авторах

1. **Галиуллин Рустам Рифович**, доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения и автоматизации технологических процессов, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, 50-летия Октября, 34, тел.: +7 (347) 278-59-48, e-mail: rustam6274@mail.ru.

2. **Яруллин Ринат Бариевич**, доктор технических наук, профессор кафедры электрических машин и электрооборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, 50-летия Октября, 34, тел.: +7 (347) 228-36-55, e-mail: jarullin_rb@mail.ru.

3. **Кафиев Иршат Рашитович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрических машин и электрооборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, 50-летия Октября, 34, e-mail: kafiev02@mail.ru.

В работе рассматривается способ повышения энергоэффективности технологического процесса облучения растений путём оптимизации режимов облучения. Это достигается фрагментацией графика облучения растений и поис-

ком положений фрагментов фотопериода во времени, при которых удовлетворяется требование к суточной дозе облучения и обеспечивается минимальная стоимость затрачиваемой электроэнергии.

OPTIMIZATION OF THE PLANT IRRIGATION PROCESS IN PROTECTED SOIL CONSTRUCTIONS

Key words: *optimization; irradiation process; LED irradiation installation; microprocessor technology; energy intensity; solar radiation; control algorithm; cost of electricity.*

Authors' personal details

1. **Galiullin Rustam**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the power supply and process automation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 450001, Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34, e-mail: rustam6274@mail.ru.

2. **Jarullin Rinat**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Electric Machines and Equipment Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 450001, Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34, e-mail: jarullin_rb@mail.ru.

3. **Kafiev Irshat**, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Electric Machines and Equipment Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 450001, Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34, e-mail: kafiev02@mail.ru.

The paper considers a way to increase the energy efficiency of the technological process of plant irradiation by optimizing the irradiation regimes. This is achieved by fragmentation of the schedule of plant irradiation and the search for the positions of

the fragments of the photoperiod in time, at which the requirement for the daily dose of radiation is satisfied and the minimum cost of the consumed electric energy is ensured.

© Галиуллин Р.Р., Яруллин Р.Б., Кафиев И.Р.

УДК 681.121.843

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-52-4-111-116

Д. Джураев, М.М. Давлетшин, Ф. Маматов, И. Тоиров, М. Халилов, А. Уришев

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРУБКИ ПИТО – ПРАНДТЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Ключевые слова: *трубка; прибор; воздушный поток; давление; скорость; вентилятор; опрыскиватель; аспирационный психрометр; микроманометр; точность.*

Введение. Как известно, основные принципы движения воздуха и жидкости в природе обобщаются, и их движение часто изучается на основе общих уравнений. Для определения динамического давления и скорости движущейся жидкости была создана трубка Пито – Прандтля, установленная к микроманометру ММН-240(5)-1.0. Этот прибор применяют для измерения параметров воздушного потока, например, вентилятора опрыскивателя, применяемого для защиты растений. Здесь необходимо отметить, что значения давления жидкости и давления воздушного потока, создаваемого вентилятором, резко отличаются между собой, то есть воздушный поток имеет очень низкое давление по сравнению с давлением движущейся жидкости.

В настоящее время для определения скорости воздушного потока существует много типов и марок анемометров. Например: вращательные (крыльчатки, чашечные), тепловые, вихревые,

динамометрические (с трубками Пито), ультразвуковые (акустические), оптические (лазерные доплеровские). Наиболее распространенными являются вращательные анемометры, отличающиеся типом принимающего устройства (чашка или крыльчатка).

Вышеуказанные приборы созданы для измерения скорости воздуха в общем потоке. При исследовании вентиляторов необходимо определить среднее значение давления и скорости воздушного потока на выходе поперечного сечения выходного окна опрыскивателя. Для этого площадь поперечного сечения выходного окна на основе ранее проведенных опытов разделяется на несколько мелких четырехугольников и у каждого по центру определяется давление и скорость воздушного потока.

При проведении научных исследований по изучению давления и скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором, применить