

А. В. Ивченко*Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент С. В. Стельмащук
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет*

АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЗАКРЫТОМ ТЕПЛИЧНОМ КОМПЛЕКСЕ

Представлено решение проблемы овощеводства защищенного грунта с использованием контроллера фирмы "ARDUINO". Выращивание культур в закрытых теплицах реализуется посредством искусственного освещения и подпиткой питательным раствором, что дает круглогодичный урожай в сложных климатических условиях. Автором лично разработан натурный макет, включающий все необходимые элементы автоматики, осуществлено программирование контроллера для управления процессом выращивания.

Защищенный грунт, тепличное производство, контроллерное управление, "ARDUINO".

The paper presents the solution of vegetable growing of the protected ground using the controller of "ARDUINO" company. Growing crops in closed hothouses is implemented by the artificial lighting and feeding of nutrient solution that gives a year-round harvest in difficult climatic conditions. The author personally developed a working model, including all the necessary elements of automation and implemented the programming of the controller to manage the process of growing.

Protected ground, hothouse production, master switch control, "ARDUINO".

Введение.

Традиционное сельское хозяйство использует слишком много энергии и производит слишком мало продуктов для растущего населения планеты, несет в себе требования, накладывающие ограничения по климатическим, физическим и экологическим критериям, и зачастую является малоэффективным, а то и вовсе экономически нецелесообразным. Авторитетные представители агропромышленного комплекса предлагают радикальные решения: перенести плодовоовощной комплекс из горизонтальной в ярусно-вертикальную ориентацию [2].

Воплотить эту идею в зависимости от условий окружающей среды возможно в надземных или в подземных комплексах, эргономично размещенных на территории городов. Эти комплексы использовали бы гидропонные фермы и при необходимости технологию светокультуры [1], [3]. В результате снизятся трудозатраты, энергоёмкость производства продуктов, а также исключаются из цепочки снабжения промежуточные звенья. Дополнительным достоинством такой реорганизации сельского хозяйства является освобождение сельхозугодия для деревьев, которые помогут очистить атмосферу от углекислого газа.

Основная часть.

Гидропоника – это способ выращивания растений без почвы. Его актуальность заключается в том, что при использовании данного метода отпадают трудоемкие работы по внесению удобрений, поливу, подкормке, подсыпке почв, дезинфекции. Открываются возможности более широкого применения автоматики, что сокращает трудовые затраты на выращивание овощей и дает возможность для получения круглогодичных урожаев вне зависимости от климатических внешних условий.

Сущность метода довольно проста: для того, чтобы растения, расположенные в активной зоне могли

расти и цвести, им нужны свет, воздух, вода, тепло и питательные вещества. Почва вовсе не так уж нужна, если корни могут получать необходимые для роста растения минеральные вещества из питательного раствора, концентрация которых повышается с течением времени. Почва при необходимости заменяется инертным субстратом, например, гравием, а в ряде случаев и вовсе исключается. Субстрат служит лишь опорой, в нем размещаются корни растений. Питание они получают из водного раствора, приготовленного растворным узлом по потребностям конкретной культуры в конкретный период ее развития, в котором содержатся все необходимые элементы питания в усвояемой форме.

Светокультура – это процесс выращивания растений при искусственном освещении. Применяется для выращивания овощных культур при ограниченных возможностях естественного освещения или абсолютном отсутствии такового. Существенное значение имеют: спектральный состав света, интенсивность радиации, длина фотопериода [4]. Ускоряя или задерживая развитие культуры (в зависимости от спектральной и фотопериодической чувствительности растений), можно повышать производительность.

Функциональная схема установки выращивания. Функциональная схема установки выращивания приведена на рис. 1а. Установка выращивания состоит из двух модулей: модуль искусственного освещения и модуль растворного узла.

В основе решения задачи искусственного освещения лежат светодиодные модули, состоящие из попарно параллельно соединенных светодиодных матриц, запитываемых с блока питания. Замыкание силовой цепи происходит посредством реле по команде контроллера по программно заданному времени, которое в свою очередь считывается с RTC модуля.

Часы реального времени (RTC – real time counter) – это малопотребляющие часы-календарь, имеющую энергонезависимую статическую ОЗУ. Часы-календарь отсчитывают секунды, минуты, часы, день, дату, месяц и год. Последняя дата месяца автоматически корректируется для месяцев с количеством дней меньше 31, включая коррекцию високосного года. RTC имеет встроенную схему наблюдения за питанием, которая обнаруживает перебои питания и автоматически переключается на питание от батареи.

Модуль растворного узла предназначен для автоматизированного приготовления питательного раствора. Управляемая контролером система дозирования жидких минеральных удобрений обеспечивает приготовление растворов с точно выдержанной концентрацией питательных веществ. Параметры питательного раствора поддерживаются на заданном уровне с помощью постоянного двойного измерения электропроводимости (ЕС) и кислотно-щелочного баланса (рН) раствора и регулирования подачи маточных растворов и поливочной воды.

В растворном узле обеспечивается приготовление питательного раствора заданной концентрации (контролируя ЕС) и с оптимальным значением рН путем смешивания с водой маточных растворов и кислоты. Контроллер анализирует параметры питательного раствора и поддерживает их на заданном уровне. Для этого используются датчики ЕС и рН, которые ведут непрерывный мониторинг и отправляют данные о состоянии наблюдаемой среды в контроллер, инициирующий управляющее воздействие на дозаторы посредством драйвера двигателей.

Алгоритм управления. Блок-схема алгоритма управляющей программы контроллера представлена на рис. 16. Ежедневно производится искусственное освещение в течении 16 час. Это обеспечивается путем сравнения времени с установленным значением ($T > 7$). Если количество часов, прошедших с начало суток, менее семи, то цепь находится в разомкнутом состоянии и питание на светодиодные модули не подаются. Как только количество часов превысит установленный порог, контроллер замыкает цепь питания искусственного освещения.

Помимо создания ритмичного искусственного освещения решается задача создания благоприятной питательной среды путем контроля рН и ЕС уровней. Следует заметить, что ЕС уровень постепенно, с течением времени необходимо менять в большую сторону. Для этого вводится вспомогательная переменная b , с помощью которой мы сможем судить о том, прошли ли сутки после последнего повышения ЕС уровня. Работает это следующим образом: во первых, происходит сравнение переменной b с числом месяца d ($b = d$). В случае, если это условие верно, никаких шагов не предпринимается, и алгоритм идет далее, но если эти значения различны, происходит увеличение переменной C , отвечающей за концентрацию ЕС следующим образом: $C = C \cdot 1,05$, а также увеличение $b = d + 1$.

Стоит заметить, что при созревании продукции ЕС необходимо установить в изначальный уровень, для это используется проверка условия $C > 2000$.

Предполагается, что при достижении данного уровня продукция будет отправлена на реализацию и начнется новый цикл выращивания.

Постоянно производится мониторинг и сравнение требуемого и фактического уровней ЕС, и при недостаточной концентрации ($ЕС < C$) включается дозатор 1. В случае превышения необходимой программно заданной концентрации C , во-первых, производится остановка дозирующего насоса, во-вторых, оценивается, насколько допущено это превышение ($ЕС > C \cdot 1,1$), которое выполняет две функции:

1) введение зоны нечувствительности для стабильности работы системы,

2) при превышении этой зоны срабатывает сигнальное оповещение о превышении допустимых значений.

Аналогично решается задача контроля рН-уровня: в случае его превышения ($рН > 6$) активируется дозатор 2. В случае, если концентрация ионов водорода не превышает заданный порог, происходит остановка дозирующего насоса и проверка: входит ли фактический наблюдаемый уровень в допустимую зону нечувствительности, ограниченную условием ($рН < 5,4$). Если показания свидетельствуют о понижении фактического уровня ниже зоны нечувствительности, срабатывает сигнальное оповещение.

Контроллеры Arduino. В соответствии с алгоритмом разработан код управляющей программы для контроллера фирмы Arduino MEGA 2560. Arduino – это инструмент для проектирования электронных устройств, более плотно взаимодействующих с окружающей физической средой, чем стандартные персональные компьютеры, которые фактически не выходят за рамки виртуальности. Это платформа, предназначенная для "physical computing" с открытым программным кодом, построенная на простой печатной плате с современной средой для написания программного обеспечения [5].

"Arduino" применяется для создания электронных устройств с возможностью приема сигналов от различных цифровых и аналоговых датчиков, которые могут быть подключены к нему, и управления различными исполнительными устройствами. Проекты устройств, основанные на "Arduino", могут работать самостоятельно или взаимодействовать с программным обеспечением на компьютере (напр.: Flash, Processing, MaxMSP). Платы могут быть собраны пользователем самостоятельно или куплены в сборе. Среда разработки программ с открытым исходным текстом доступна для бесплатного скачивания.

Существует множество микроконтроллеров и платформ для осуществления "physical computing": Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard и мн. др., которые предлагают схожую функциональность. "Arduino", в свою очередь, тоже упрощает процесс работы с микроконтроллерами, однако имеет ряд преимуществ перед другими устройствами для преподавателей, студентов и любителей:

1. Низкая стоимость – платы "Arduino" относительно дешевы по сравнению с другими платфор-

ми. Самая недорогая версия модуля "Arduino" может быть собрана вручную, а некоторые даже готовые модули стоят меньше 50 дол.

2. Кросс-платформенность – программное обеспечение "Arduino" работает под ОС Windows, Macintosh OSX и Linux. Большинство микроконтроллеров ограничивается ОС Windows.

3. Простая и понятная среда программирования – среда "Arduino" – подходит как для начинающих пользователей, так и для опытных. "Arduino" осно-

вана на среде программирования Processing, что очень удобно для преподавателей, так как студенты, работающие с данной средой, будут знакомы и с "Arduino".

4. Программное обеспечение с возможностью расширения и открытым исходным текстом – программное обеспечение "Arduino" – выпускается как инструмент, который может быть дополнен опытными пользователями.

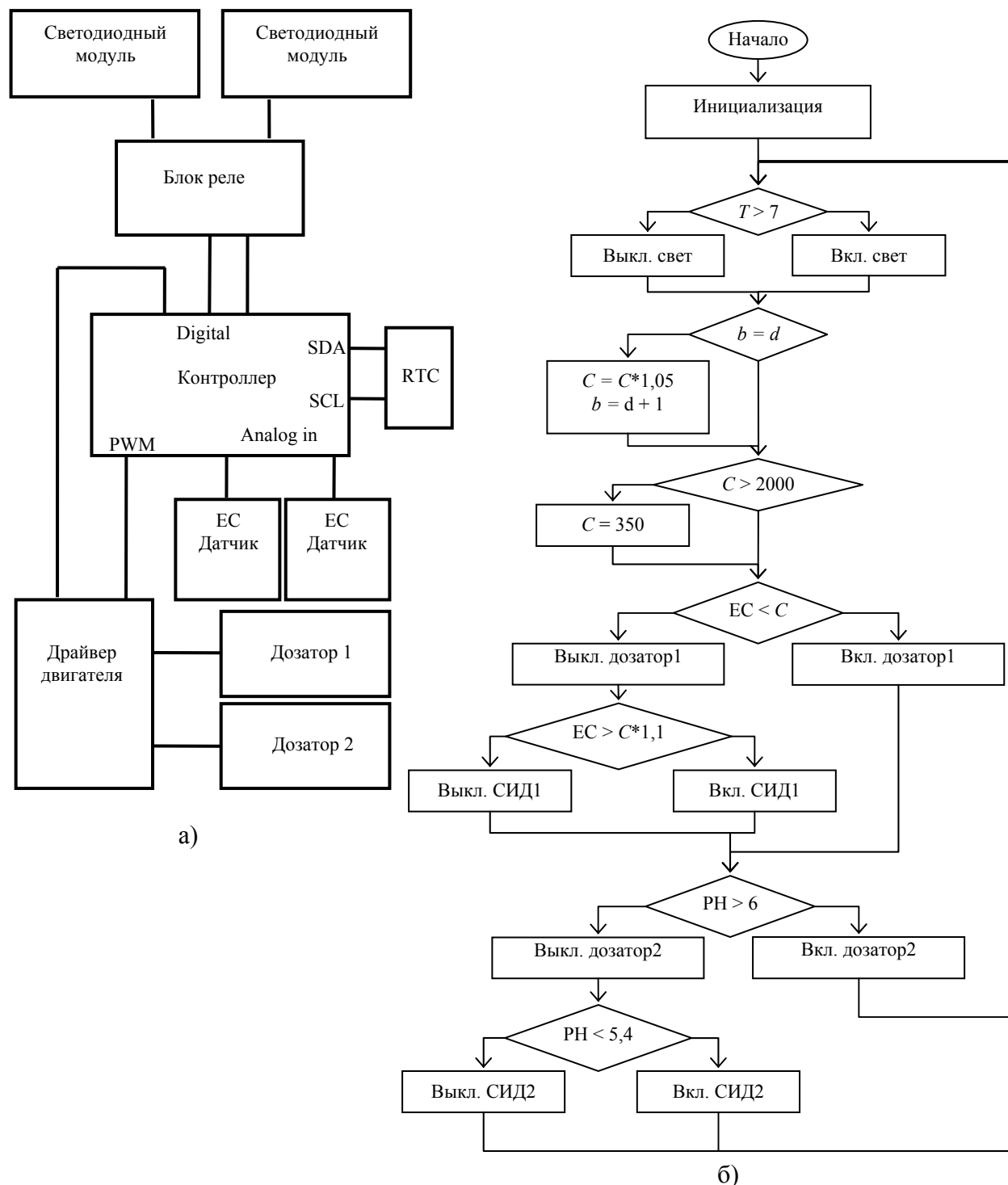


Рис. 1. Функциональная схема установки (а) и алгоритм управляющей программы (б)

5. Аппаратные средства с возможностью расширения и открытыми принципиальными схемами – микроконтроллеры ATMEGA8 и ATMEGA168 – являются основой "Arduino". Схемы модулей выпускаются с лицензией Creative Commons, а значит, опытные инженеры имеют возможность создания собственных версий модулей, расширяя и дополняя их. Даже обычные пользователи могут разработать опытные образцы с целью экономии средств и понимания работы.

Arduino Mega построена на микроконтроллере ATmega2560. Плата имеет 54 цифровых входа/выходов (14 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 16 аналоговых входов, 4 последовательных порта UART, кварцевый генератор 16 МГц, USB коннектор, разъем питания, разъем ICSP и кнопка перезагрузки.

Конструкция установки выращивания. Установка выращивания продуктов имеет стендовый вид, где на одной стороне стенда (активной стороне, см. рис. 2), размещены коробка с выращиваемым продуктом и светодиодные модули. На другой стороне – управляющая часть: растворный узел, контроллер, датчики концентрации и pH-уровня раствора, релейный модуль, насосы дозаторов и источник питания.

Светодиодные матрицы ARPL-10W на основе нитрида галлия разработаны для применения в мощ-

ных осветительных приборах. Отличаются продолжительным сроком службы, стабильностью характеристик, качественным исполнением. В конструкции светодиодов применен люминофор с повышенной термической устойчивостью. Массивная медная подложка облегчает отвод тепла от светоизлучающих кристаллов.

В конструкции применено 9 кристаллов световой эффективностью 90–100 Лм/Вт, подключенных последовательно-параллельным способом, в каждой из трех параллельных ветвей включены последовательно три светодиодных кристалла. Светодиодная матрица питается постоянным током равным 900 мА. Рабочая температура входит в диапазон -45 и до +60 °С. Даная светодиодная матрица нуждается в принудительном охлаждении. При пассивном охлаждении площадь радиатора должна быть не менее 200 см².

Управляющая часть установки представлена на рис. 3. Среди датчиков представлены pH-метр для измерения pH-уровня и кондуктометр для измерения электропроводности питательного раствора. В качестве исполнительного устройства используются: перистальтический насос, плата расширения с драйвером для управления двигателями и блок реле. Управляющими элементами являются контроллер и часы реального времени RTC.

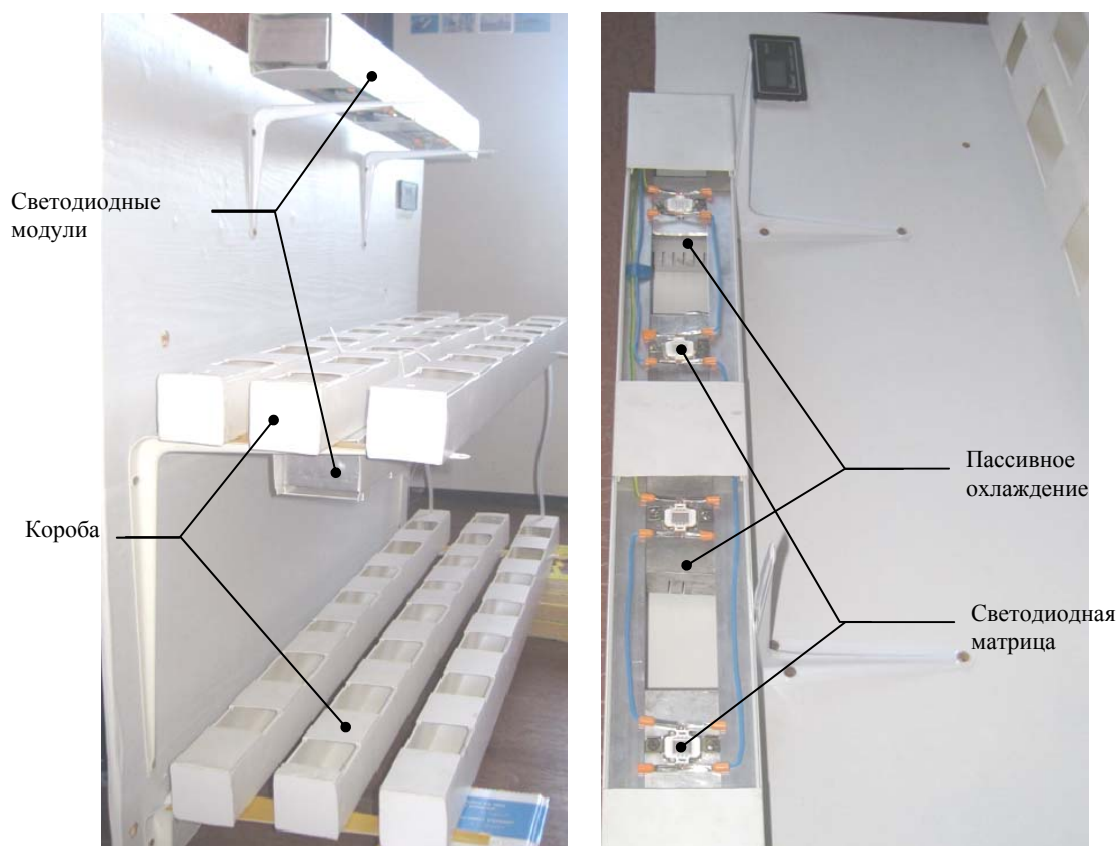


Рис. 2. Активная сторона установки выращивания продуктов

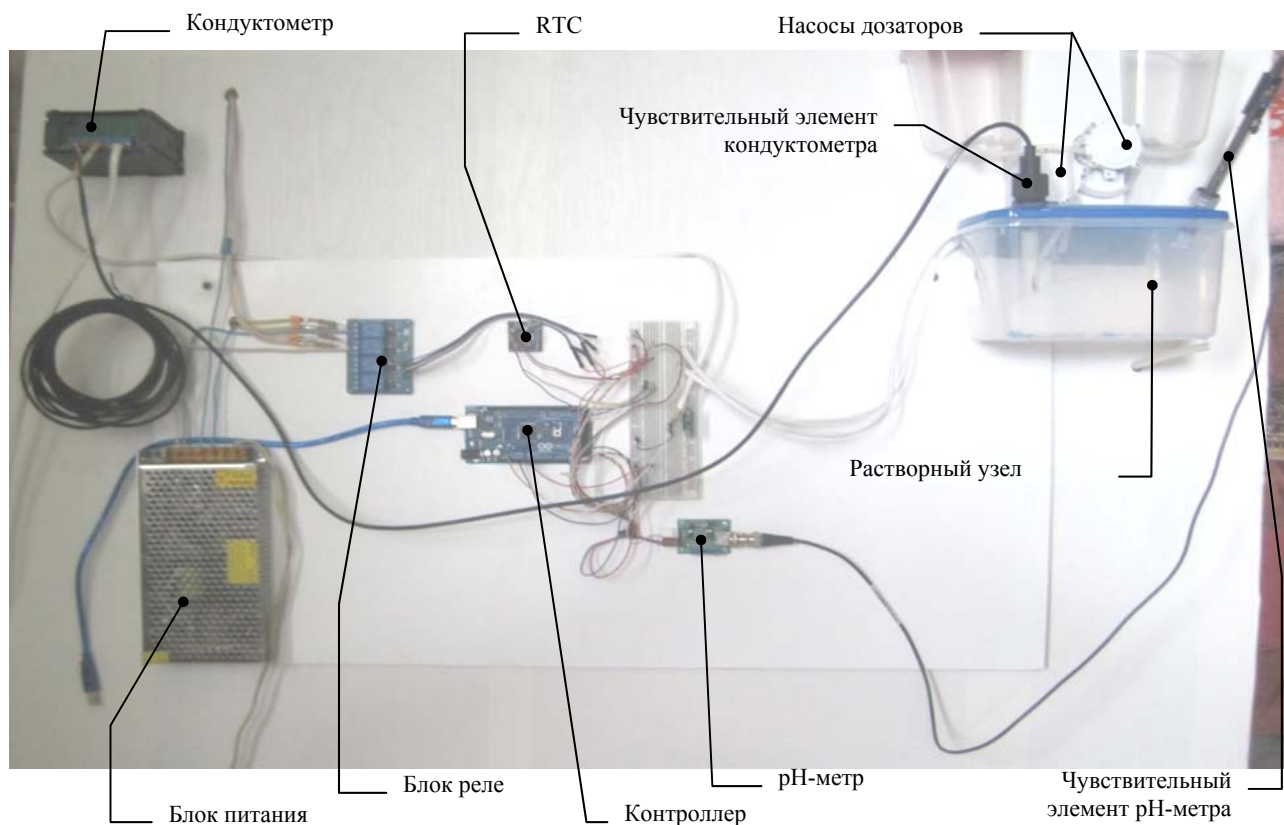


Рис. 3. Управляющая часть установки выращивания продуктов

Плата расширения Arduino Motor построена на базе микросхемы L298N, представляет собой двоярный мостовой драйвер и предназначена для управления двигателями постоянного тока или шаговыми двигателями. Одна микросхема L298N способна управлять двумя двигателями, используя широтно-импульсную модуляцию, и позволяет плавно изменять скорость вращения двигателя.

Перистальтический насос предназначен для перекачки жидкостей, текущих по гибким трубкам. Принцип действия основан на том, что ролики передавливают трубку с жидкостью, и, двигаясь вдоль трубки, проталкивают жидкость вперед. В проекте используется дозирующий насос WPN японской фирмы "Welco".

Показатель pH представляет собой логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком, т. е. $pH = -\log[H^+]$. Величина pH определяется количественным соотношением в воде ионов H^+ и OH^- , образующихся при диссоциации воды. Если в воде пониженное содержание свободных ионов водорода ($pH > 7$) по сравнению с ионами OH^- , то вода будет иметь щелочную реакцию, а при повышенном содержании ионов H^+ ($pH < 7$) – кислотную. В идеальной чистой дистиллированной воде эти ионы будут уравновешивать друг друга. В таких случаях вода нейтральна и $pH = 7$. В проекте используется датчик Grove – PH Sensor, обеспечивающий непрерывный мониторинг уровня pH.

Кондуктометр определяет электропроводность веществ разной консистенции, как эмульсия, суспензия, гель, а также водных и иных растворов солей,

оснований и кислот. Электропроводность зависит от содержания вещества и химического состава в точке измерения. Также кондуктометром можно измерить содержание солей в растворах.

Огромное значение применение кондуктометров имеет для контроля чистоты дистиллированной и очищенной от ионов воды, поскольку сразу выявляет наличие любых примесей и ионов. Это делает кондуктометр незаменимым устройством везде, где применяется дистиллированная и очищенная от ионов вода.

В проекте используется кондуктометр Create CM230A, обеспечивающий мониторинг электропроводности в режиме on-line. Отличительной особенностью модели CM-230A является наличие аналогового выхода, что позволяет через АЦП подключать данный контролер к контроллеру.

Выводы.

В результате выполнения проекта, в ходе которого была разработана и опробована установка выращивания продуктов, была проведена теоретическая оценка финансово-экономических показателей. Выяснилось, что для обслуживания одной этой установки достаточно одной ставки лаборанта в размере 15000 руб. В обязанность лаборанта входит снятие показаний уровней pH и ЕС на всех этапах производства для каждой из производимых культур, производство расчета необходимой концентрации ЕС в соответствии с культурой ее вегетативным сроком и потребностями, и подачи заявки оператору.

Ежемесячные отчисления на текущий и плановый ремонт, на расходные материалы составляют 10 % от итоговой стоимости оборудования, т. е. 1000 руб. ежемесячно. Таким образом, экономический эффект, определяемый ежемесячной экономией финансов, направленных на зарплату лаборанта, за вычетом денежных средств, направленных на обслуживание контроллера, составляет $15000 - 1000 = 14000$ руб.

Проведя финансово-экономический анализ проекта, выяснилось, что срок окупаемости инвестиций с учетом ставки дисконтирования 0,02 составил 4,6 мес., а индекс рентабельности 3,7. Проект по показателю рентабельности является привлекательным.

УДК 662.92

З. К. Кабаков, Ю. В. Грибова, Д. И. Габеля
Череповецкий государственный университет

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ШТАБЕЛЕЙ НА ХОЛОДНОМ СКЛАДЕ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с математическим моделированием процесса охлаждения слябовой заготовкой на холодном складе. Приведенная оценка позволяет определить продолжительность охлаждения из слябов углеродистых сталей при постоянных условиях охлаждения в зависимости от различных геометрических параметров штабеля. Для построения этой зависимости использован полный факторный эксперимент.

Сляб, штабель, математическое моделирование, продолжительность охлаждения.

This article considers the issues related to the mathematical modeling of the slab cooling in a cold store room. This estimate allows determining the cooling time of the slabs of carbon steels at constant cooling conditions according to the different geometric parameters of the stack. The authors used a full factorial experiment to build this relationship.

Slab, stack, mathematical modeling, duration of cooling.

Введение.

Перед контролем качества поверхности непрерывно литых слябов на стеллажах они охлаждаются в штабелях. Контроль производится при температуре штабеля, не превышающей заданное значение. Продолжительность охлаждения штабелей зависит от теплофизических свойств стали, условий охлаждения, образования окалины и геометрических параметров штабеля, что затрудняет ее прогнозирование. В связи с этим необходимо знать динамику охлаждения штабеля. Эффективным инструментом исследования тепловых процессов и прогнозирования продолжительности охлаждения является математическое моделирование. В работе [1, с. 83] разработана математическая модель охлаждения штабелей непрерывно литых слябов на воздухе. В модели учитывается теплопередача внутри штабеля, наличие окалины на поверхности штабеля, теплопередача от поверхности, излучение и конвекция воздуха. Математическая модель протестирована и проверена на адекватность на основе экспериментальных данных. Модель позволяет получить большое количество информации о процессе охлаждения: температурные поля штабеля, тепловые потоки от поверхности шта-

Литература

1. Клешнин, А. Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений / А. Ф. Клешнин. – М., 1954.
2. Кудашов, А. Теплицам нужна господдержка / А. Кудашов // Ассоциация «Теплицы России». – 2006. – №2. – С. 39–41.
3. Леман, В. М. Культура растений при электрическом свете / В. М. Леман. – М., 1971.
4. Мошков, Б. С. Выращивание растений при искусственном освещении / Б. С. Мошков. – М., 1966.
5. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / У. Соммер. – СПб., 2012.

беля, степень влияния соседних штабелей на процесс охлаждения рассматриваемого штабеля и др. Эта информация является излишней, если необходимо знать только продолжительность охлаждения штабелей из слябов углеродистых сталей при постоянных условиях охлаждения в зависимости от различных геометрических параметров штабеля. Для построения этой зависимости использован полный факторный эксперимент. В качестве объекта, на котором проводятся эксперименты, использовалась математическая модель [1, с. 83] охлаждения штабеля.

Основная часть.

Основными параметрами, влияние которых рассматривается в данной работе, являются ширина штабеля $2A$, длина штабеля 2ℓ , высота штабеля H и расстояние между штабелями a . Выберем диапазоны изменения параметров в соответствии с технологией:

- половина ширины A штабеля (фактор x_1): $0,6 \div 1,0$ м;
- половина длины ℓ штабеля (фактор x_2): $2,0 \div 6,0$ м;
- высота H штабеля (фактор x_3): $2,0 \div 4,0$ м;