

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

(институт)

Промышленная электроника

(кафедра)

11.03.04 Электроника и микроэлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника

(ПРОФИЛЬ)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему Гидропонная теплица

Студент

Дмитрий Максимов

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Руководитель

Евгений Сергеевич Глибин

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Консультанты

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

«\_\_\_» июня 2016 г.

Тольятти 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Актуальность гидропоники .....	3
2 Основные виды гидропонных систем на рынке .....	7
3 Структурная схема разрабатываемой в рамках выпускной квалификационной работы установки .....	13
4 Обзор семейств микроконтроллеров для системы управления .....	16
5 Обзор микроконтроллера ATmega8L-8PU .....	25
6 Подключение и управление Wi-Fi модулем .....	30
7 Выбор и подключение рН датчика.....	37
8 Выбор и подключение датчиков температуры и проводимости.....	43
9 Питание электрических компонентов теплицы.....	50
10 Разработка принципиальной схемы.....	53
11 Алгоритмы работы системы управления и их блок схемы .....	55
12 Разработка печатной платы и сборочного чертежа.....	56
13 Безопасность и экологичность проекта .....	59
14 Экономический расчет проекта.....	62
Заключение.....	63
Литература.....	64

## **1 Актуальность гидропоники**

Вода является источником всего живого на Земле. С древних времен существует дефицит пресной питьевой воды, что не раз становилось причиной кризисов и социальных потрясений. Хотя водная поверхность занимает более 70% площади планеты, доля пресной воды составляет только 3%. Причем из этих трех процентов 75% находится в ледниках и айсбергах, а почти вся остальная вода под землей. И только около 1% пресной воды относительно легкодоступно человеку. В течение XX века потребление воды увеличилось в среднем в 20 раз по мере роста населения. По оценкам некоторых экспертов через 20 лет потребление воды возрастет ещё в три раза. За последние сорок лет объем чистой питьевой воды из расчета на каждого человека уменьшился почти на 60%. Сегодня 2 миллиарда человек в 80 странах мира имеет ограниченный доступ к питьевой воде. А к 2025 году с дефицитом воды столкнутся 3 миллиарда человек в 50 странах мира. По мнению экспертов ООН, в XXI веке вода станет более важным стратегическим ресурсом, чем нефть и газ. Уже сегодня в центре Австралии, ЮАР, в странах Аравийского полуострова, Центральной Азии, Северной Африки питьевая вода дороже нефти.

Главным потребителем пресной воды является сельское хозяйство. На этот сектор экономики приходится 85% потребления всей имеющейся пресной воды. Человеку требуется всего 2-4 литра воды в день для питья. В это же время на производство еды для одного человека ежедневно затрачивается 2000-5000 литров. Например, для выращивания 1 килограмма пшеницы необходимо от 800 до 4,000 литров воды, а для 1 килограмма риса около 3500 литров.

Парниковый эффект становится всё более очевидным, количество газов, выбрасываемых в атмосферу, увеличивается. По мнению межправительственной группы экспертов по изменению климата Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat к 2025 году

глобальное потепление составит 1,6 °С по сравнению с доиндустриальным периодом. Ученые согласны в том, что потепление приведёт к интенсификации и ускорению глобальных гидрологических циклов. Другими словами возрастет частота таких экстремальных ситуаций, как засуха и наводнения в странах, где этого не должно быть. Экосистема становится неустойчивой, не может приспособиться к настолько стремительно меняющимся условиям. Результатом этих изменений станет снижение урожайности культур, рост числа заболеваний растений, увеличение численности и видов вредных насекомых. Как следствие эксперты международного Гумбольдского форума по вопросам продовольствия и сельского хозяйства убеждены, что в 21 столетии цены на продовольствие неуклонно будут расти.

Поэтому в последние годы возрос интерес к гидропонике, то есть к выращиванию растений без почвы, на искусственных питательных растворах. Метод позволяет получать стабильно высокий урожай при невысокой себестоимости продукции. Изучению проблем минерального питания растений посвящены работы Д.Н. Прянишникова, К.А. Тимирязева. В 20 веке во многих городах РСФСР, в том числе в городе Тольятти (СХ ОАО «Овощевод»), построены гидропонные тепличные комбинаты для выращивания огурцов, томатов, баклажанов, сладкого перца и другой сельскохозяйственной продукции.

В наше время в Израиле до 80 % всех овощей, зелени, фруктов, выращивается с помощью гидропоники, а, например, армия США имеет всё необходимое для создания в полевых условиях гидропонных теплиц. Развитие гидропонии в России обусловлено возрастающим интересом к «малым фермерским хозяйствам», где на небольшой площади можно выращивать овощи, цветочные и ягодные культуры, зелень, причём при наличии искусственного освещения в любое время года.

Оборудование для гидропонии требует немалых начальных вложений, поэтому рассмотрим, какие преимущества и недостатки имеет

гидропоника по сравнению с традиционным выращиванием растений в земле.

Некоторые основные преимущества:

1. экономия воды;
2. экономия питательных веществ;
3. значительная меньшая потребность в пестицидах;
4. отсутствие потребности в гербицидах;
5. производство большего количества биомассы;
6. выращивание культур в любых условиях.

Буйный рост растений, имеющий место в гидропонике, подразумевает потребление большого количества воды за счет транспирации – процесса движения воды через растение и её испарение через листья, стебли, цветы и т.д. Но вода не исчезает в почве или при испарении, поэтому экономия воды, по сравнению с растущими в почве растениями колоссальная. По этой же причине минеральные вещества не теряются в почве, мигрируя и загрязняя подземные и поверхностные водоемы. Так, например, в Англии за 10 лет концентрация нитратов увеличилась на 44 - 48%, а в США более 37% озер загрязнено и непригодно даже для купания. Быстрорастущие однолетние растения при правильном уходе растут быстро, не болеют и оказывают серьезное сопротивление вредителям и практически не нуждаются в пестицидах. Также в гидропонных установках отсутствует необходимость борьбы с сорняками и соответственно применения гербицидов.

Тем не менее, метод не лишен и недостатков. Самым существенным является отсутствие защиты от неправильных действий фермера. Если в естественных условиях почва обладает смягчающими буферными свойствами за счет микроорганизмов и своего химического состава, то в гидропонной теплице избыток питательных веществ, неправильная смесь, и особенно высокий уровень рН может привести к уничтожению всего урожая за пару часов!

Температура является другим важным фактором. Лучше всего растения растут при температуре 18–22 °С в пределах корневой зоны. До 26 °С с растениями ничего плохого не произойдет, но при более высокой температуре рост замедлится, а где-то при 35 °С их корни, лишенные растворенного кислорода, начнут быстро отмирать, а с ними и растения. Это серьезное ограничение, особенно в помещении, где искусственное освещение выделяет много тепла.

Поэтому создание максимально автономных гидропонных установок для малого бизнеса, например, для выращивания клубники или салатов зимой на большей территории России, путем внедрения современных электронных датчиков для контроля жизненно важных параметров среды и систем управления на основе микропроцессорной техники представляется актуальным.

## 2 Основные виды гидропонных систем на рынке

Рассмотрим основные виды гидропонных систем. На сегодняшний день в мире существует сотни вариантов гидропонных систем, однако все они являются или разновидностью или комбинацией шести основных типов:

1. фитильная система;
2. система глубоководных культур;
3. система периодического затопления;
4. аэро-гидропоника;
5. система капельного полива;
6. техника питательного слоя.

Простейшая фитильная гидропонная система показана на рисунке 1. Питательный раствор доставляется к корням растения за счет действия капиллярных сил, постепенно впитываясь в среду из гравия, щебня или некоторых пористых материалов, например, керамзита, вермикулита. Похожий метод используется для орошения горшков с землей в цветочных магазинах. Подобные замечательные системы обеспечивают автоматическую подачу воды, но в их применении имеет место существенная проблема - эта система подходит только для выращивания декоративных растений, которые растут очень медленно и не требуют большого внимания.



Рисунок 1 – Простейшая фитильная гидропонная система

Система глубоководных культур (англ. DWC или Deep Water Culture) – простой вид гидропонных систем, состоящий из бака и устройства для аэрации воды, схема которой представлена на рисунке 2.

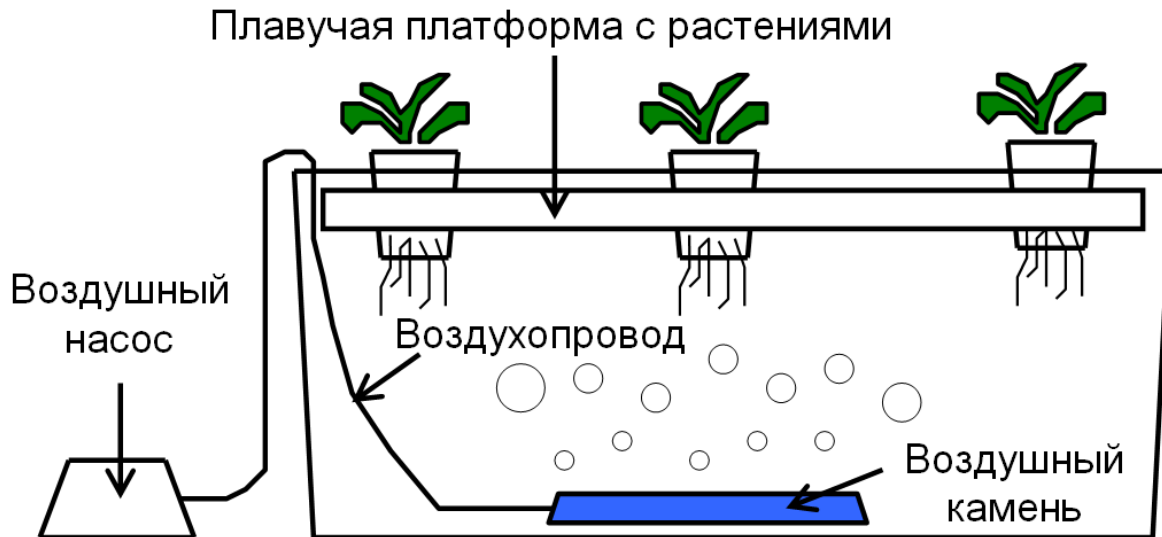


Рисунок 2 - Система глубоководных культур

Корни растений в таких системах обычно максимально заполняют свободное пространство, а растения растут намного быстрее, чем в почве. В огромных прямоугольных бассейнах, наполненных питательным раствором, плавают пенопластовые плиты с рассадой салата. Один и тот



же раствор используют весь сезон, добавляя воду и удобрения для баланса. Это непрерывный процесс: регулярно на одном конце бассейна снимают урожай салата и передвигают остальные плиты для того, чтобы высадить новую рассаду. Кроме этого, подобный подход реализуется представленных сегодня на российском рынке системах Aquarot (а) и WaterFarm (б) для домашнего хозяйства (рисунок 3).

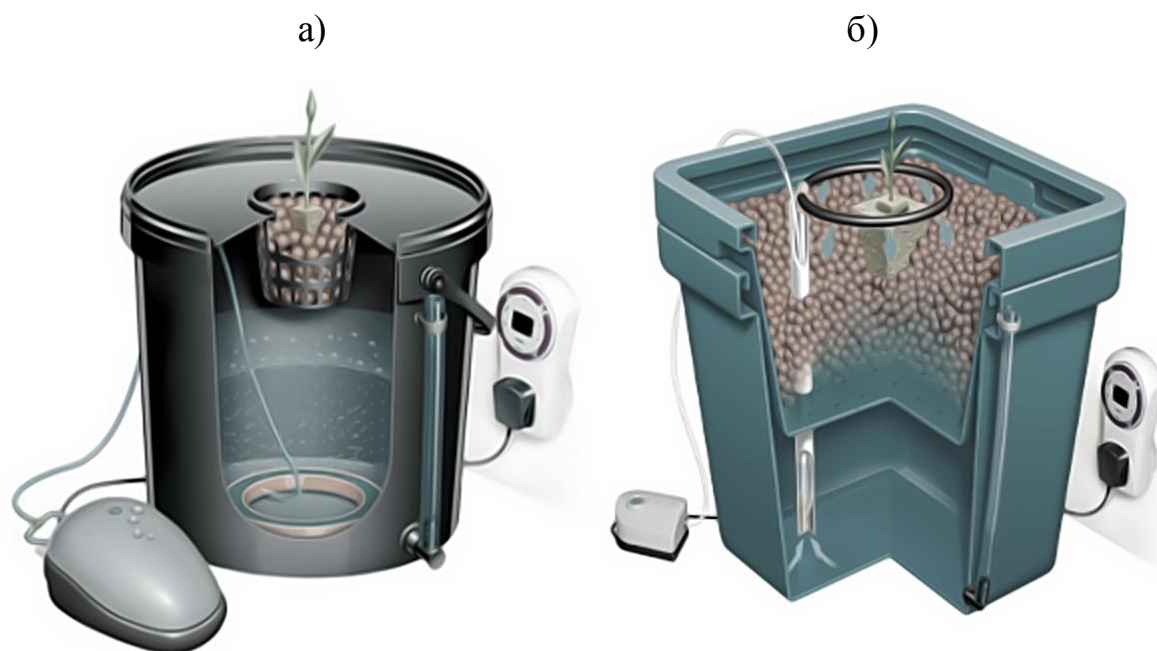


Рисунок 3 – Системы глубоководных культур: а) Aquarot, б) WaterFarm

Система периодического затопления (рисунок 4) хорошо обогащает кислородом корневую зону с помощью электрического компрессора. Среда из гравия, щебня или некоторых пористых материалов, например, керамзита, вермикулита затопляется питательным раствором, который затем самотеком стекает обратно в бак. Движение воды, проветривает корневую зону от газов и приносит свежий воздух.

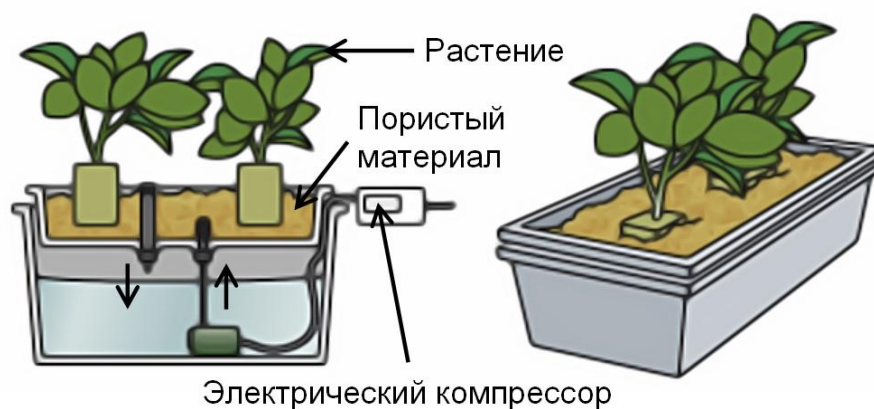


Рисунок 4 – Система периодического затопления

Самый современный гидропонный метод – это аэро-гидропоника (рисунок 5). Эти системы распыляют раствор в корневой зоне растений и пространство заполняет влажный воздух, насыщенный водяными парами и кислородом. Этот метод в основном применяется, когда температура питательного раствора превышает 30 °С и по этой причине используется в странах с жарким климатом.

Система капельного орошения (рисунок 6) состоит из бака с питательным раствором, который подается по трубкам на каждое растение с помощью электрического насоса. Системы капельного полива применяют в тепличном бизнесе, когда требуется эффективно и с низкой стоимостью, автоматизировать процесс выращивания. В качестве среды используется минеральная вата. Однако этот способ далеко не идеальный, так как вата впитывает большое количество воды и не обеспечивает воздухообмен. В холодном климате России раствор будет поглощаться медленно, а корни останутся без свежего воздуха. В результате может образоваться корневая гниль, а растения заболеют.

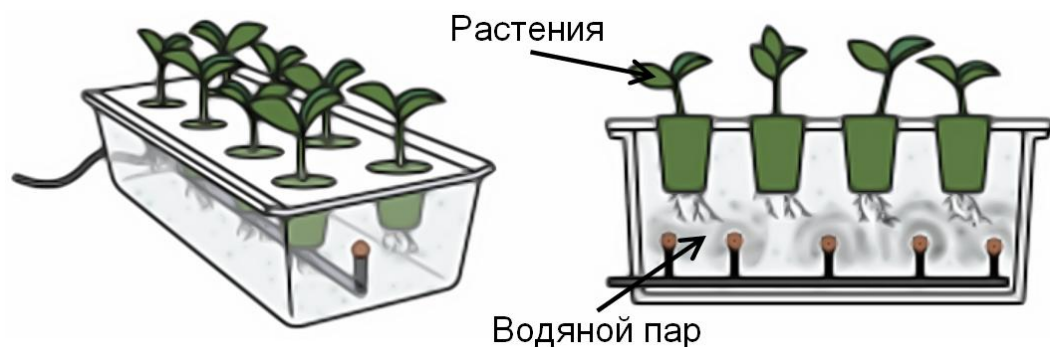


Рисунок 5 - Аэро-гидропоника

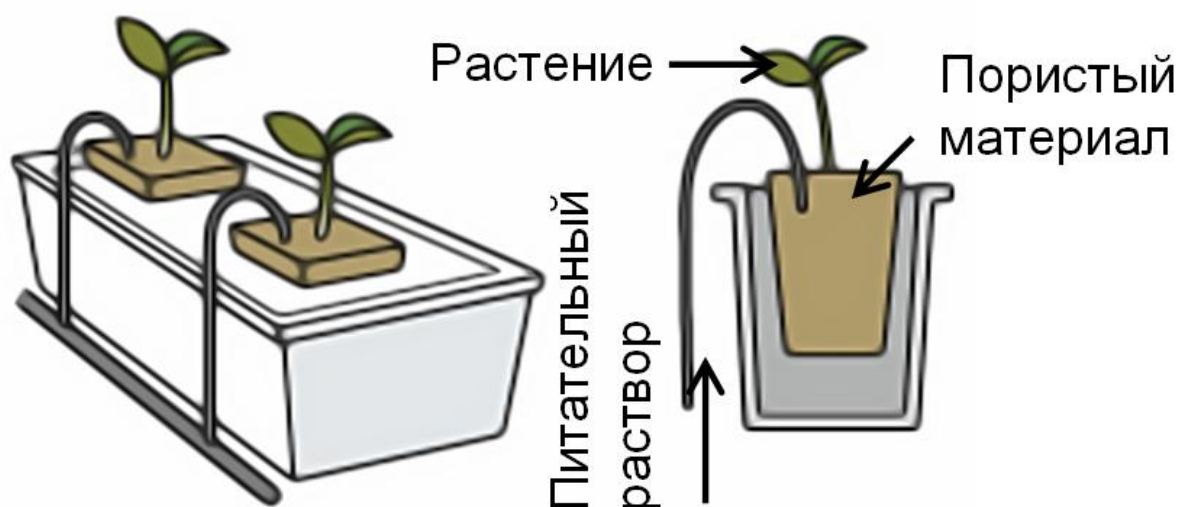


Рисунок 6 – Система капельного полива

Самым распространенным способом выращивания скороспелых культур, салатов, ягод и кулинарной зелени является техника питательного слоя (рисунок 7). Питательный раствор благодаря электрическому насосу постоянно циркулирует тонким слоем и обеспечивает большую площадь соприкосновения воздуха с водой.

Таким образом, для малого фермерского хозяйства по выращиванию салата, кулинарной зелени и ягод в климатических России наиболее эффективным представляется использование техники питательного слоя. При этом актуальная задача автоматизации процесса может быть решена путем использования датчиков и микропроцессорных систем управления.

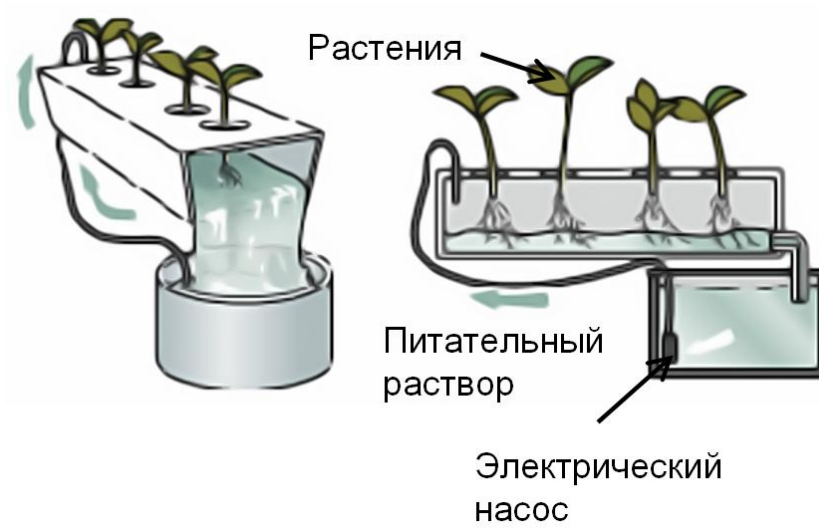


Рисунок 7 – Техника питательного слоя

### 3 Структурная схема разрабатываемой в рамках выпускной квалификационной работы установки

На рисунке 8 представлена разработанная структурная схема автономной гидропонной системы.

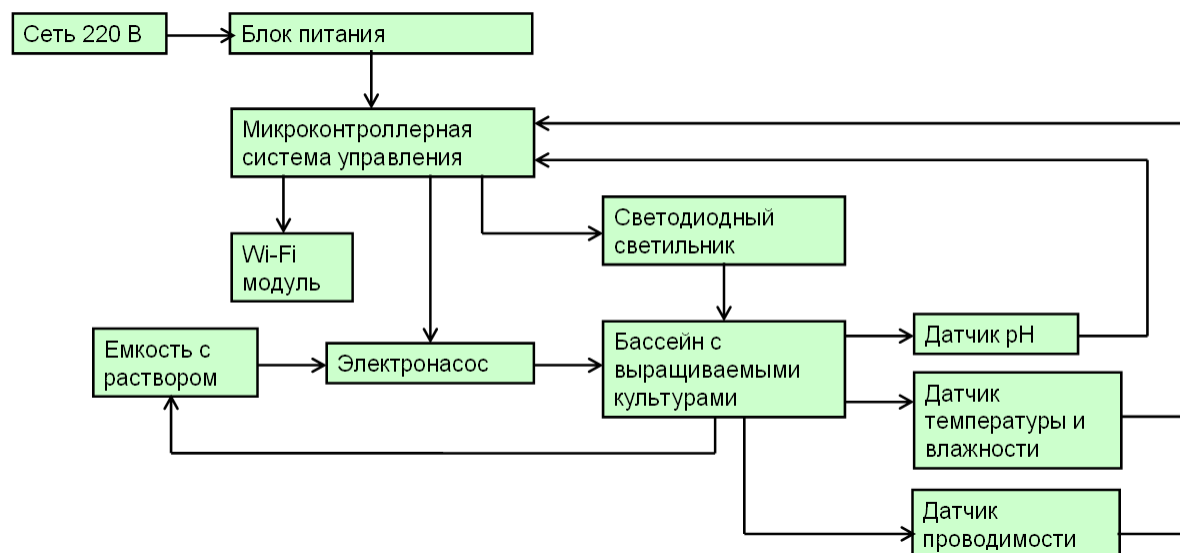


Рисунок 8 – Структурная схема гидропонной системы

Для контроля качества раствора и правильного питания растений необходимо непрерывно отслеживать три основных параметра: кислотность среды – уровень pH, электропроводность раствора и температуру. pH чистой воды колеблется от 5,5 до 8,5. Для гидропоники pH колеблется от 5,5 до 6,5 в зависимости от растения и понижается специальными добавками. В противном случае питательные элементы раствора не будут усваиваться растениями. Требуемая электропроводность зависит от стадии роста растения и обычно находится в диапазоне от 0,2 мС/см для черенков до максимум 2,6 мС/см на финальной стадии. Если нормальная электропроводность будет превышена, у растений начнет сохнуть листва. В этой ситуации требуется заменить раствор на чистую воду и несколько дней не кормить растения. Для лучшего роста температуру следует поддерживать в диапазоне от 18 до 22 °С. Эти три параметра будут отслеживаться электронными датчиками.

Система не содержит встроенных средств индикации показаний датчиков. Вместо этого Wi-Fi модуль передает показания в локальную сеть, и они могут быть прочитаны с помощью любого смартфона. Это снизит стоимость оборудования с одной стороны, с другой даст возможность контролировать параметры среды удаленно. Показания датчиков pH, температуры, влажности и проводимости носят информационный характер для пользователя, сообщая о необходимости добавления необходимых элементов в питательный раствор вручную вовремя. При крупном производстве могут использоваться специальные автономные растворные узлы, выполняющие приготовление раствора по заложенной программе, ежесекундно отслеживающие параметры среды. Пример такого узла приведен на рисунке 9. Однако его цена весьма велика для малого бизнеса или частного хозяйства.



Рисунок 9 – Автоматизированный растворный узел

Разработка платы-контроллера управления электронасосом и светильником с Wi-Fi интерфейсом, блоком питания, а также алгоритмов

работы программного обеспечения, выполняющего опрос датчиков и управление системой, являются задачами выпускной квалификационной работы.

Преимуществом предлагаемой системы по сравнению с аналогами на рынке является сниженная стоимость и расширенная функциональность за счет использования современной электронной компонентной базы. Кроме этого приборы контроля параметров среды (рН метр и кондуктометр ЕС метр) продаются отдельно, каждый содержит дисплей и достаточно дороги. Применение единой платы с микроконтроллером для управления насосом, светильником и опроса датчиков, использование Wi-Fi интерфейса позволит снизить стоимость теплицы по сравнению с известными решениями.

## 4 Обзор семейств микроконтроллеров для системы управления

Микроконтроллер в системе управления гидропонной теплицей согласно разработанной структурной схеме должен выполнять следующие задачи:

1. Считывать показания электронных датчиков, например, рН, температуры, влажности.
2. Осуществлять управление освещением и электрическим насосом.
3. Передавать информацию о состоянии теплицы через сеть Wi-Fi на смартфон, ноутбук или персональный компьютер, обеспечивать прием и выполнение команд оператора.

Недорогие датчики кислотности среды, распространенные на рынке в наше время, используют аналоговый выходной сигнал. Конечно, существуют специальные лабораторные измерители со средствами индикации или даже цифровым интерфейсом связи с компьютером, однако их отличает более высокая цена. Представляется выгодным использовать возможность подключения стандартного рН-зонда с коаксиальным радиочастотным разъёмом с байонетной фиксацией (или BNC коннектор, рисунок 10) и микроконтроллер со встроенным аналого-цифровым преобразователем.



Рисунок 10 - BNC коннектор



Выбранный микроконтроллер должен иметь достаточно свободных выводов цифровых портов ввода-вывода для управления электронасосом, светильником, опросом датчика температуры и обмена информацией с Wi-Fi. Электронасос и светильник может коммутироваться с помощью реле, а обмен данными с модулем Wi-Fi осуществляется по последовательному интерфейсу и использовать линии RX и TX. Таким образом, в микроконтроллере должно присутствовать не менее пяти свободных цифровых выводов.

Также следует учесть, что обмен информацией с распространенными Wi-Fi модулями, например ESP8266 (рисунок 11), осуществляется текстовыми AT командами, для формирования и хранения которых микропроцессор должен иметь достаточно оперативной памяти.

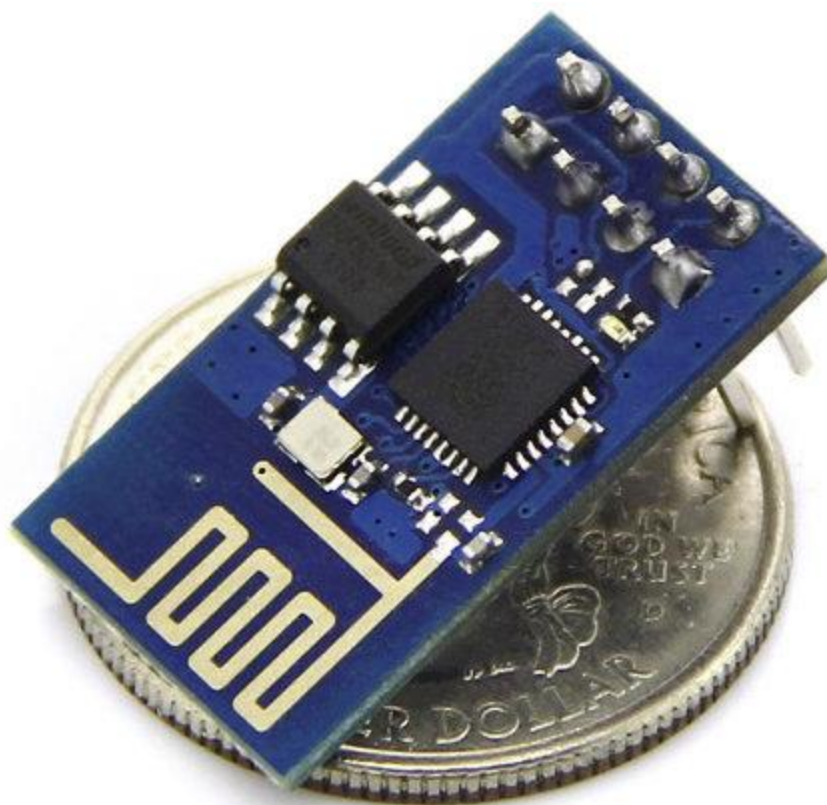


Рисунок 11 – Wi-Fi модуль ESP8266

К сожалению, этот факт затрудняет применение достаточно большой группы дешевых (с ценой менее 0,5\$ в 2016 г.) 8-битных микроконтроллеров с 64 байтами ОЗУ, например, AT89C151U или

ATtiny13A. В тоже время, поскольку от системы управления гидропонной теплицей не требуется высокой скорости реакции, составляющей доли секунды, то вычислительные возможности и частота процессора могут быть не очень велики.

Рассмотрим некоторые, наиболее распространенные на рынке, семейства микроконтроллеров.

**Семейство MSC-51** происходит от микропроцессора **intel 8051** и сегодня выпускается множеством компаний. Это 8-ми разрядная архитектура, отличается от большинства других восьмиразрядных тем, что это **CISC** архитектура (**Complex Instruction Set Computer** – компьютер с полным набором команд). Т.е. одной машинной командой можно совершить довольно сложное действие. Эти команды выполняются за большое число тактов (обычно за 12 или 24 такта, в зависимости от типа команды), имеют разную длину и их много, на все случаи жизни. Среди микроконтроллеров этой архитектуры встречаются как **AT89C51**, имеющие минимум периферии, крошечную память и низкое быстродействие, так и продукция **Silicon Laboratories** имеющая разнообразную периферию, огромные объемы оперативной и постоянной памяти, мощные интерфейсы от простого последовательного интерфейса до **USB** и **CAN**, а также быстрое ядро, выполняющее до сотни миллионов операций в секунду.

Другим очень распространенным семейством является **AVR** от компании **Atmel**. **Atmel** производит и **MSC-51** микроконтроллеры, однако все же концентрируется компания больше на **AVR**. Эти микроконтроллеры имеют уже восьмиразрядную **RISC** архитектуру (**Reduced Instruction Set Computer**, с небольшим числом команд) и выполняют одну команду за один такт, но в отличии от классического **RISC** ядра имеют весьма обширную систему команд, тем не менее не такую удобную как у **MSC-51**. Для **AVR**, особенно для контроллеров подсемейства **ATMega**, характерно разнообразие периферии (таймеры, АЦП и т.д.). Кроме того, программа

микроконтроллера загружается с помощью довольно простых устройств-программаторов. Простота освоения позволила этому семейству прочно запасть в сердца многих и многих радиолюбителей по всему миру.

Еще одним семейством 8-ми разрядных **RISC** микроконтроллеров является **Microchip PIC**, отличается весьма специфичной системой команд, состоящей всего из пары десятков команд, каждая выполняется за четыре такта. Для **PIC** микроконтроллеров характерны низкое энергопотребление и быстрый запуск. Традиционно применяются в бортовые компьютеры автомобилей, а также в многочисленных бытовых сигнализациях. Хотя в среднем микроконтроллере **PIC** нет такого количества периферии как в **AVR**, тем не менее модификаций **PIC** микроконтроллеров существует такое количество, что всегда можно подобрать микросхему с периферией подходящей точно для решаемой задачи.

В наши дни появляются новые 32-битные микроконтроллеры на ядре **ARM Cortex-M0, Cortex-M3** по цене сравнимой с ценой 8-битных. ARM микропроцессоры ощутимо выигрывают в плане быстродействия и энергопотребления. Почему тогда цена так мало отличается? Дело в том, что 32-х битное вычислительное ядро занимает порядка десятка тысяч транзисторов, в то время как 256 кБ Flash-памяти – 2 млн. транзисторов. То есть основное место в микроконтроллере занимает память и периферия. На цену большее влияние оказывает не площадь кристалла микросхемы, а объемы производства. Сегодня ARM микроконтроллеры применяются в мобильных телефонах и планшетах, промышленных контроллерах и роботах. И зачастую там, где хватило бы и 4-х битного процессоры экономически выгодным является применение мощного ARM. Программаторы для ARM-ов несколько сложнее и дороже, чем для AVR. Также ARM редко выпускаются в DIP корпусе, удобном для мелкосерийного производства или при изготовлении опытных образцов новых электронных устройств.

Рассмотрим какие популярные микроконтроллеры в корпусе вида DIP возможно купить сегодня. Результаты обзора приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Наиболее распространенные микроконтроллеры в корпусе вида DIP

Наименование (Производитель)	Объем ПЗУ, килобайт	Объем ОЗУ, байт	Количество выводов	Цена, руб. *
AT89C2051-24PU (Atmel Corp.)	2	128	20	104,79
AT89C55WD-24PU (Atmel Corp.)	20	256	40	217,98
AT89S2051-24PU (Atmel Corp.)	2	256	20	164,06
AT89S4051-24PU (Atmel Corp.)	4	256	20	281,16
ATmega16-16PU (Atmel Corp.)	16	1024	40	558,46
ATmega168-20PU (Atmel Corp.)	16	1024	28	454,92
ATmega32-16PU (Atmel Corp.)	32	2048	40	712,74
ATmega32A-PU (Atmel Corp.)	32	2048	40	306,01
ATmega644-20PU (Atmel Corp.)	64	4096	40	965,97
ATmega8-16PU (Atmel Corp.)	8	1024	28	234,72
ATmega88-20PU	8	1024	28	312,49

(Atmel Corp.)				
ATmega8L-8PU (Atmel Corp.)	8	1024	28	154,02
ATtiny2313-20PU (Atmel Corp.)	2	128	20	223,51
MC68HC908QY2CP (Freescale Semiconductor Inc.)	1,5	128	16	61,30
MC9S08QG8CPBE (Freescale Semiconductor Inc.)	8	512	16	268,12
PIC18F2620-I/SP (Microchip Technology Inc.)	64	3968	28	275,59

\* цены приведены по данным интернет-магазина [terraelectronica.ru](http://terraelectronica.ru) в мае 2016 года

Большинство микроконтроллеров средней производительности, приведенных в таблице, производятся Atmel и относятся к серии ATmega. В наименовании указаны объем флеш-памяти для хранения кода программ и максимально допустимая частота процессора. Например, ATmega32-16PU имеет 32 килобайта ПЗУ и максимально допустимую частоту 16 МГц.

Типичными предельными частотами для всех представленных микроконтроллеров является 16-20 МГц. В целом цена существенно зависит от объема памяти микроконтроллера.

Из приведенных данных видно, что наиболее подходящим для поставленных задач микроконтроллером является ATmega8L-8PU за 154 р. Низкая предельная частота работы в 8 МГц не является существенным фактором для задачи управления теплицей. Выбранный МК в 1,5 раза

дешевле, чем полностью аналогичный ATmega8-16PU с предельной частотой 16 МГц и в 2 раза дешевле, чем ATmega88-20PU с таким же объемом памяти, но частотой 20 МГц. Также следует отметить, что в микроконтроллерах AVR частоту можно задавать внутренней или внешней цепью. Работу микроконтроллера AVR на частоте выше 8 МГц можно обеспечить только с использованием внешнего кварцевого резонатора. А для относительно медленной работы микроконтроллера и задач контроля показаний датчиков и управления реле возможно применение внутренней частотозадающей цепи, что слегка уменьшает число элементов в принципиальной схеме устройства.

Следует отметить PIC18F2620-I/SP от Microchip Technology Inc. с 64 килобайтами флеш-памяти и 3968 байтами ОЗУ всего за 275,59 р., что намного превышает показатели микроконтроллеров аналогичного ценового диапазона. Однако для управления теплицей параметры данного микроконтроллера, а также Atmega16, Atmega32 на представляются избыточными, а цена выше, чем у ATmega8L-8PU. Примерно в аналогичном ценовом диапазоне выбранного микроконтроллера находятся AT89C2051-24PU с 2 килобайтами ПЗУ и 128 байтами ОЗУ за 104,79 р. и AT89S2051-24PU с 2 килобайтами ПЗУ и 256 байтами ОЗУ за 164,06 р. с максимальной частотой работы 24 МГц.

Считается, что программирование микроконтроллера на Си имеет смысл только при наличии минимум 8 килобайт ПЗУ. Обмен информацией между Wi-Fi модулем осуществляется текстовыми командами, использование Си для формирования таких текстовых строк кажется намного более простым, чем использование ассемблера, так как для этого существуют стандартные библиотеки. С целью снижения времени на написание программного обеспечения системы управления теплицы ограничим выбор микроконтроллеров флеш-памятью минимум 8 килобайтами.

Поэтому остановимся на **ATmega8L-8PU** и разберем его маркировку.

**АТ** указывает на производителя Atmel;

**Mega** – это вид семейства. Кроме Mega Atmel выпускает микроконтроллеры семейств Tiny и Xmega. В Tiny меньше памяти, чем соответственно у Mega, но корпуса бывают с небольшим числом выводов от 6 до 20;

**8** – объем флеш-памяти в килобайтах. Числом, указывающим на объем памяти, является степень двойки. Поэтому Mega162 это не микроконтроллер с 162 килобайтами флеш-памяти, а разновидность Mega16 модификации 2 с памятью 16 килобайтами. Или рассмотренный ранее микроконтроллер Mega88 - не 88 кб, а всего 8 кб флеш-памяти, а Mega88 указывает на дальнейшее развитие Mega8. Аналогично и Mega48 или Mega168, Tiny2313 – 2 килобайта флеш-памяти;

Буква **L** указывает на низковольтную серию. Такие микроконтроллеры могут работать от 2,7 вольт, правда предельная частота обычно ниже, чем у контроллеров, работающих от 5 вольт;

Следует отметить, что ключевой элемент разработки Wi-Fi модуль предполагается выполнить на ESP8266, работающим на напряжении 3,3 В. И в случае использования стандартного микроконтроллера AVR, питающегося от напряжения 5 вольт, необходимо использование схем преобразования логических уровней 3,3 В – 5 В между микроконтроллером и модулем Wi-Fi. В нашем случае возможность работы на низком напряжении является плюсом.

**8** – максимальная частота в мегагерцах;

**P** - тип корпуса. Это весьма важная особенность. P – DIP корпус, это самый большой и громоздкий вид корпусов, но монтаж его самый простой. Существуют специальные панельки, которые можно припаять вместо микроконтроллера в плату, а сам микроконтроллер можно помещать и вынимать, что бывает удобным на этапе создания опытного образца или создания и отладки программы. Корпуса вида SOIC (индекс S) или TQFP

(индекс А) без хорошего опыта пайки и умения вытравить качественную печатную плату к сожалению довольно трудно использовать.

U – это тип исполнения микроконтроллера, возможен промышленный I вариант или коммерческий – U. Тип исполнения влияет на допустимые температуры работы, контроль качества и на цену - промышленные микроконтроллеры примерно раза в полтора дороже, чем коммерческие. Промышленный микроконтроллер может работать в температурном диапазоне от -20 градусов по шкале Цельсия до +70, коммерческий же от 0 до 70. Нами предполагается, что отрицательных температур в теплице не будет.



## 5 Обзор микроконтроллера ATmega8L-8PU

Микроконтроллер **ATmega8L-8PU** имеет следующие ключевые особенности:

- высокопроизводительный с низким энергопотреблением восьмибитный микроконтроллер;
- базируется на расширенной RISC архитектуре с 130 командами, большинство которых выполняются за один такт;
- имеет аппаратную поддержку умножения, выполняющегося за два такта;
- 8 кб флеш-памяти, 512 байт EEPROM, 1 кб оперативной памяти;
- два 8-битных и один 16-битный таймера-счетчика;
- часы реального времени;
- три ШИМ канала;
- шесть каналов АЦП (8 у микроконтроллеров данной марки в других корпусах);
- поддержка последовательного UART-интерфейса;
- аналоговый компаратор;
- встроенный RC-генератор, задающий частоту работы;
- 23 линии ввода-вывода;
- DIP корпус с 28 выводами;
- напряжение питания от 2,7 В до 5,5 В;
- частота от 0 до 8 МГц;
- потребляемый ток при 25 градусах по шкале Цельсия на частоте 4 МГц составляет 3,6 мА в активном режиме.

Изображение корпуса, представленное в официальной технической документации микроконтроллера, с названиями всех выводов показано на рисунке 12.

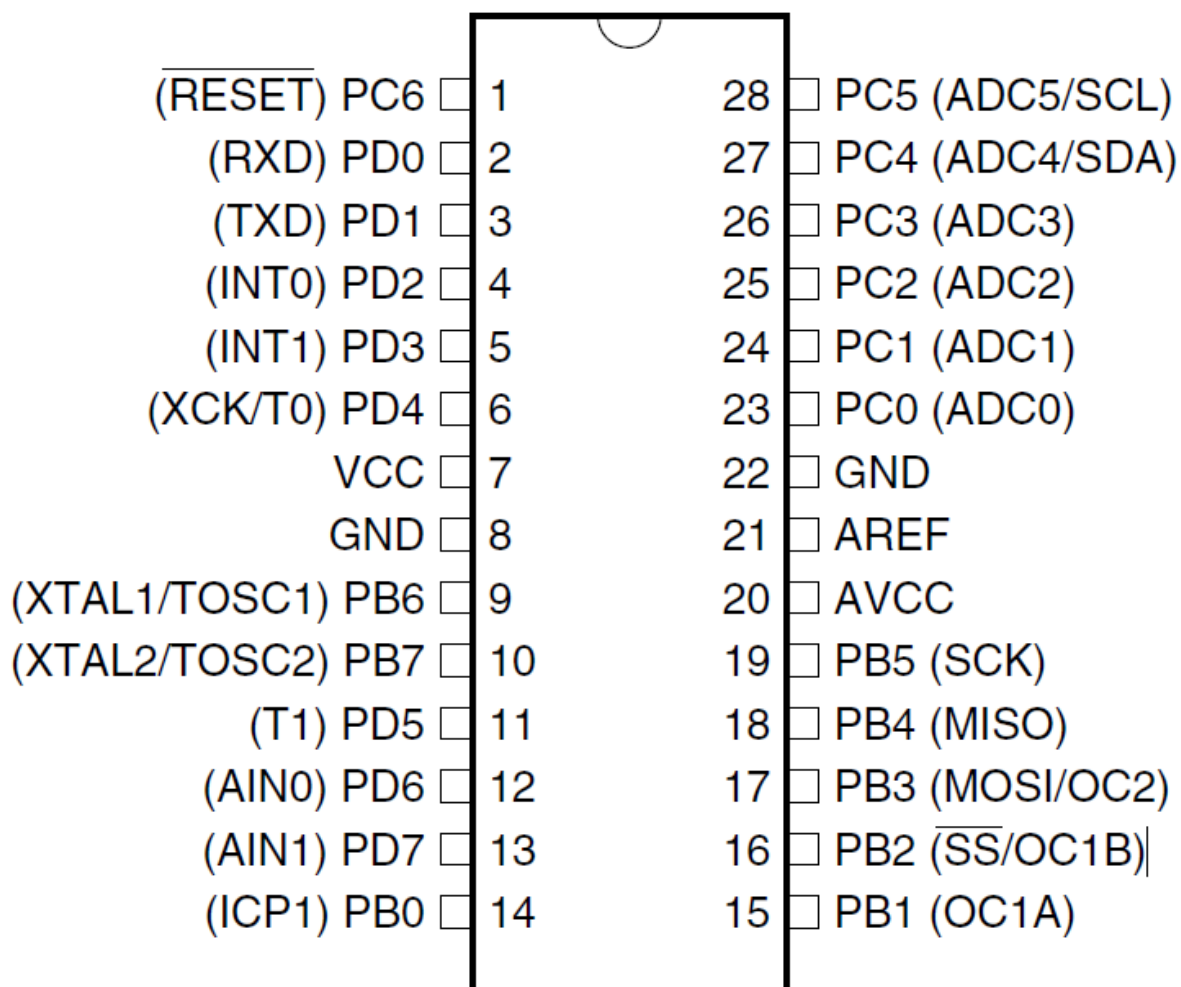


Рисунок 12 – Выводы микроконтроллера **ATmega8L-8PU**

Для работы микроконтроллеру необходима электрическая энергия. Питание подключается к выводам Vcc (от 2,7 В до 5,5 В) и GND (земля). AVCC – отдельное питание аналого-цифрового преобразователя и порта C(3..0). АЦП это очень точный измеритель напряжения, его питание желательно подключать через дополнительные фильтры, чтобы помехи в обычной питающей цепи, не влияли на качество измерения. С этой целью в точных схемах в AVCC подается напряжение через фильтрующий дроссель. Если не предполагается использовать АЦП для весьма точных измерений, то вполне допустимо на AVCC подать то же напряжение, что и на Vcc, но подключить AVCC к источнику питания необходимо.

Схема питания микроконтроллера показана на рисунке 13.

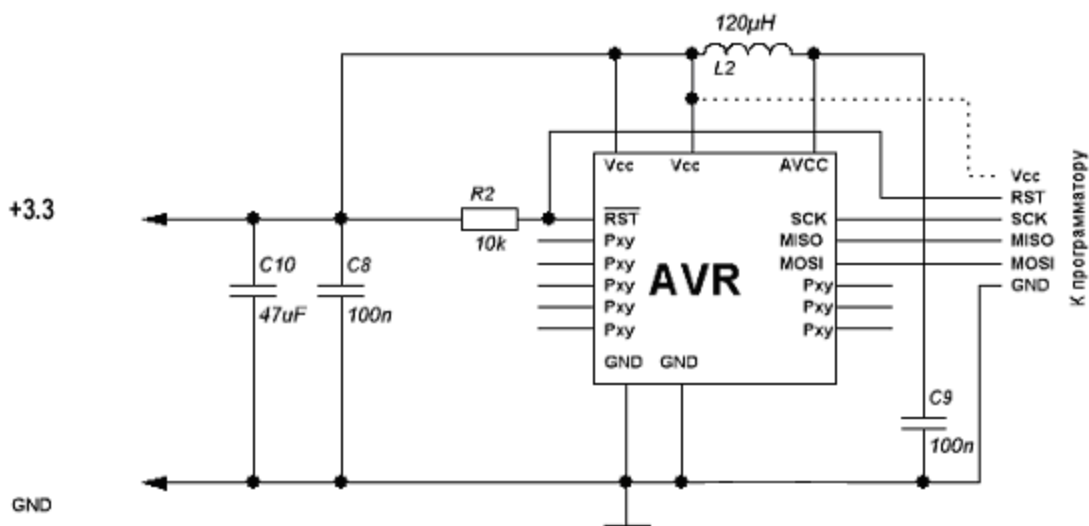


Рисунок 13 – Схема питания микроконтроллера системы управления гидропонной теплицей

К микроконтроллеру подключены следующие цепи:

Цепь сброса контроллера. При подключении питания на вход RESET подается напряжение высокого логического уровня через резистор номиналом 10 кОм. Вход RESET является инверсным, на что указывает черта выше надписи в документации: 0 – сброс микроконтроллера, 1 – нормальный режим работы. Применение данной цепи рекомендуется для надежного запуска микропроцессора во время включения, несмотря на то, что в нем предусмотрена своя внутренняя цепь сброса. Во внутренней цепи вывод RESET обычно подключен к Vcc через резистор номиналом 100 кОм, но на практике при отсутствии внешней цепи сброса микроконтроллер периодически может сбрасываться из-за различных наводок. Чаще применяется цепь сброса, показанная на рисунке 14.

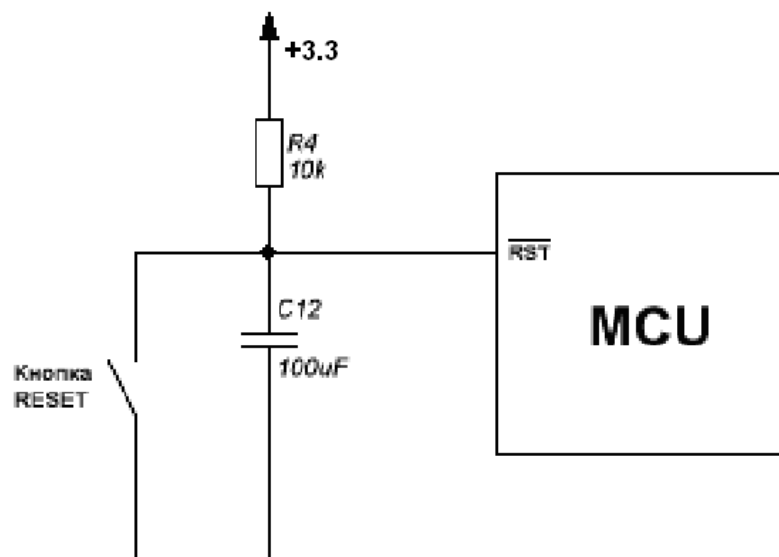


Рисунок 14 – Цепь надежного сброса микроконтроллера

Такая цепь позволяет сбрасывать схему нажатием на кнопку и применяется в отладочных платах, контроллерах Arduino и т.д. При включении схемы конденсатор разряжен и напряжение RESET близко к нулю – микроконтроллер не запускается, со временем же конденсатор зарядится, напряжение RESET достигнет единицы, микроконтроллер запустится. Задержка запуска составляет примерно  $T = RC$ . То есть, если номинал резистора 10 кОм, а емкость 100 мкФ, схема запустится примерно через одну секунду. Кроме того, старые микроконтроллеры, например, AT89C51, могли вообще не запуститься без такой цепи. В нашем случае пользователь не будет иметь прямого доступа к плате системы управления теплицей, поэтому просто исключим кнопку для сброса из рассмотренной цепи, ограничившись резистором и конденсатором.

Согласно рекомендации Atmel питание АЦП AVCC подключено через низкочастотный фильтр, включающему дроссель номиналом 120 мкГн. Также считается необходимым установить керамический конденсатор емкостью 100 нФ между VCC и GND как можно ближе к выводам питания — он сгладит короткие импульсные помехи, вызванные работой цифровых схем, в шине питания. Конденсатор емкостью 47 мкФ в

цепи питания применяется для сглаживания глубоких бросков напряжения питания.

Это минимальная схема, необходимая для применения микроконтроллера в системе управления. Загружается программа с помощью программатора, подключенного к выводам **SCK, MISO, MOSI, RESET, VCC, GND**, и компьютера. Сегодня выпускается достаточно большое количество специальных отладочных плат, включающую площадку для временной установки микроконтроллера при программировании. Поэтому будем считать, что припаян в плату системы управления теплицей будет уже запрограммированный микроконтроллер. Во время работ по созданию первого опытного образца площадку для него. Для упрощения печатной платы не будем использовать эти выводы программирования микроконтроллера. Наиболее распространенным, инструментальным программным обеспечением для разработки программ микроконтроллеров AVR архитектуры является **AVR Studio**. Программа пишется на языке программирования Си или ассемблер, компилируется в hex-файл, который загружается в микросхему с помощью программатора.

## 6 Подключение и управление Wi-Fi модулем

В наши дни популярным компактным Wi-Fi модулем является ESP8266 от компании Espressif Systems. По данным сайта [terraelectronica.ru](http://terraelectronica.ru) в мае 2016 цена модуля составляет 662,45 руб. (включая НДС) при штучной покупке и до 405,42 руб. при оптовой покупке от 17 шт. По данным сайта [aliexpress.com](http://aliexpress.com) цена модуля составляет около 2-3\$ с бесплатной международной доставкой. Плата показана на рисунке 15.

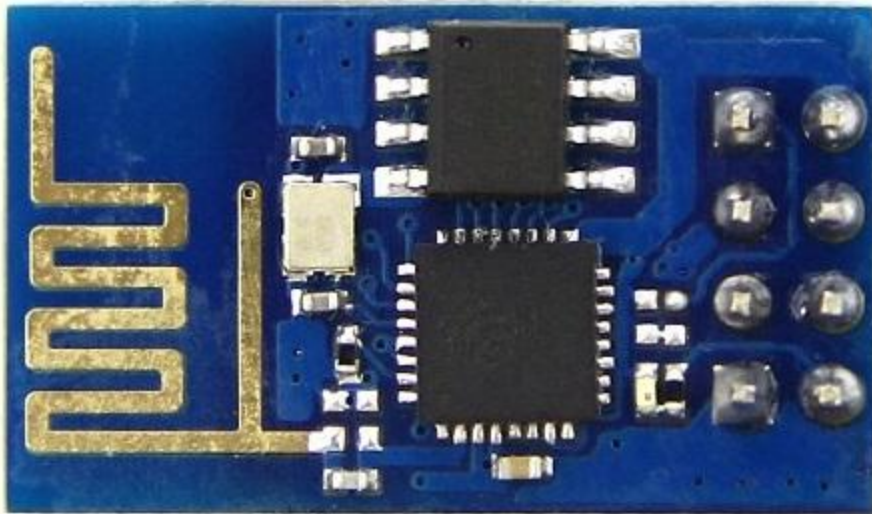


Рисунок 15 – Плата модуля Wi-Fi

Модуль представляет собою, по сути, преобразователь интерфейса UART-Wi-Fi. UART является из старейших цифровых интерфейсов, включающие линии передачи информации RX и TX. Стоит отметить, что многие микроконтроллеры, в том числе и выбранный микроконтроллер **ATmega8L-8PU**, имеют поддержку UART. Интерфейс хорошо поддерживается стандартными библиотеками средств разработки программного обеспечения. Другими словами для приема и передачи данных между Wi-Fi модулем и микроконтроллером системы управления необходимо соединить соответствующие выводы RX и TX и обычно использовать библиотеку в программе для организации аппаратного UART. Или организовать программный UART, если аппаратный

интерфейс не может быть использован по каким-либо причинам. Программа обменивается информацией с Wi-Fi модулем пересылкой текстовых команд. Каждая текстовая команда разбивается на массив символов, а каждый символ последовательно бит за битом передается по линиям RX и TX согласно спецификации UART.

На представленной плате располагается собственно микросхема Wi-Fi, расширенная версия 32-битного процессора Tensilica's L106 Diamond series, отличается от аналогов высокой степенью интеграции компонентов. Модуль создан для использования в IP-камерах, носимой электронике, беспроводных датчиках, элементах умного дома, другими словами должен стать основой грядущего «Интернета вещей». Плата может использоваться в двух основных режимах: 1) в виде моста UART-WiFi, когда модуль управляется другим микроконтроллером с помощью AT-команд 2) нового решения, использующего сам чип ESP8266 в качестве управляющего микроконтроллера. К сожалению, второй вариант не подходит, так как на плате недостаточно выводов для подключения всех датчиков и исполнительных устройств, несмотря на более низкую цену такого решения и достаточность вычислительных ресурсов 32-битного процессора. Антенна Wi-Fi выполнена печатным проводником необходимой формы на плате. Плата включает стандартную обвязку микроконтроллеров: кварцевый резонатор, конденсаторы, резисторы, а также светодиодные индикаторы. Самый крупный элемент - это разъем 4 на 2 штырька.

На рисунке 16 показаны названия выводов модуля.

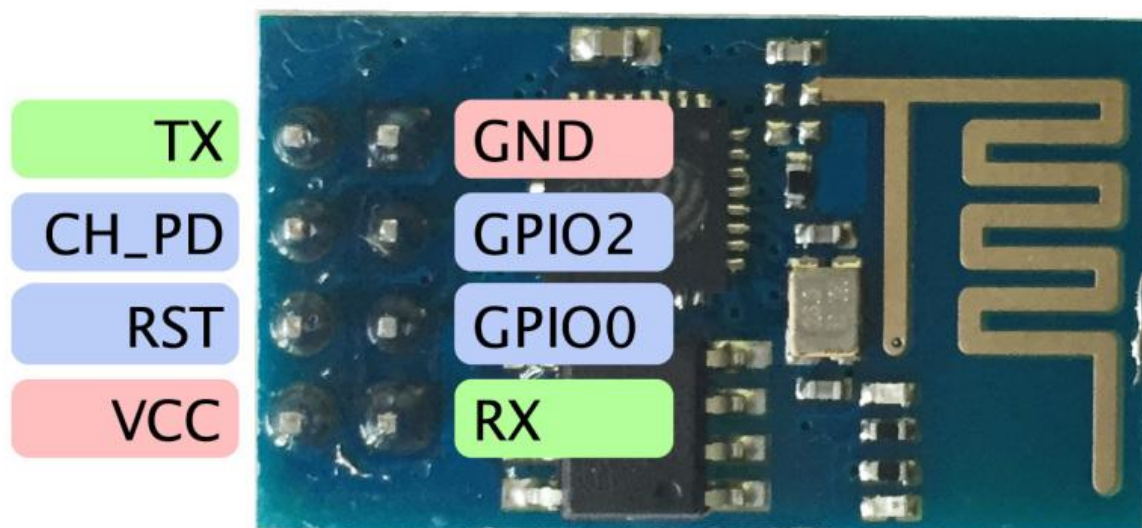


Рисунок 16 – Выводы модуля Wi-Fi ESP8266

VCC необходимо подключить к 3,3 В. Стоит отметить, что от пяти вольт работать модуль точно не будет, даже если и не сгорит мгновенно при подаче такого напряжения питания. GND – земля. RX Wi-Fi модуля необходимо соединить с линией TX основного микроконтроллера, TX модуля с RX микроконтроллера, при условии работы последнего на напряжении 3,3 В. Все остальные выводы согласно документации, это GPIO0, GPIO2, RST, CH\_PD, необходимо подключить через резистор от 5 до 50 кОм к 3,3 В. Логический ноль на RST сбросит модуль в случае зависания, CH\_PD что-то вроде “Chip Enable” используется при включении данной микросхемы. GPIO0, GPIO2 программируемые выводы, использоваться нами не будут.

Основные характеристики Wi-Fi модуля ESP8266 следующие:

- питающее напряжение 3,3 В;
- ток во время передачи данных до 215 мА;
- ток во время приема данных до 62 мА;
- реализует протокол 802.11 b/g/n протокол;
- мощность в режиме 802.11b +20.5 дБм;
- два дополнительных вывода GPIO0, GPIO2;



- встроенный программируемый 32-битный микропроцессор;
- рабочая температура от -40 до +125 градусов по шкале Цельсия;
- максимальное расстояние связи 100 метров.

Из пресс-релизов Espressif можно заметить, что фирма производитель чипа гордится высокой степенью его интеграции. Типовая обвязка схемы состоит всего из нескольких элементов, плата модуля практически пуста, что снижает его цену по сравнению с конкурентами. Для сравнения приведем более дорогие аналоги выбранного модуля на рисунках 17 и 18.



Рисунок 17 – Wi-Fi модуль на базе MT7681

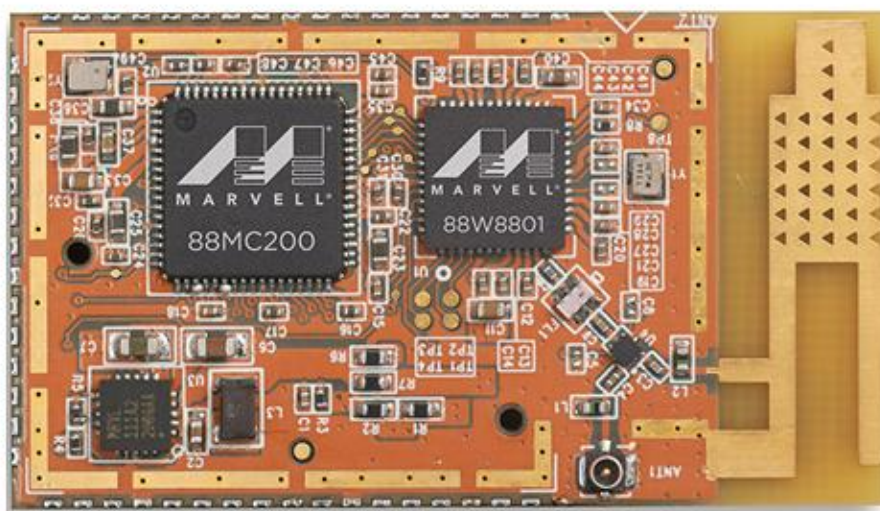


Рисунок 18 – Wi-Fi модуль на базе чипсета от Marvell

Видно насколько больше дискретных компонентов применено.

С появлением недорогих решений даже у предприятий малого бизнеса появляется недоступная до сих пор возможность подключения своих устройств в Wi-Fi-сети!

В таблице 2 приведены основные AT-команды Wi-Fi инициализации модуля ESP8266.

Таблица 2 – AT-команды инициализации ESP8266

№	Команда	Описание
1	AT	Простая тестовая команда. При нормальном функционировании модуля ответ должен быть <b>OK</b>
2	AT+RST	Выполняет перезагрузку модуля. После перезагрузки ответ должен быть <b>ready</b>
3	AT+GMR	Проверяет и возвращает в ответе версию микрокода модуля
4	AT+CWMODE=<режим>	Задаёт режим работы модуля: 1 – клиент, 2 – режим точки доступа, 3 – совмещенный режим
5	AT+CWLAP	С помощью этой команды можно получить список всех точек доступа в радиусе обнаружения
6	AT+CWJAP=<имя>,<пароль> >	Подключиться к точке доступа
7	AT+CWQAP	Отключиться от точки доступа
8	AT+CWSAP=<имя>,<пароль> >,<канал>,<шифрование>	Инициализировать точку доступа на самом модуле
9	AT+CWLIF	Получить список всех устройств, подключенных к точке доступа модуля

1 0	AT+CIPSTATUS	С помощью этой команды можно узнать статус TCP соединения
--------	--------------	---

Чаще всего смартфоны могут только подключаться к существующей точке доступа, поэтому будем использовать режим точки доступа для передачи показаний датчиков теплицы на телефон.

Рассмотрим минимальную последовательность команд, необходимых для создания web-сервера, к которому подключится телефон, жирным шрифтом выделены отправляемые модулю команды, простым - ответ:

**AT+RST**

OK

Название фирмы производителя чипа, версия прошивки  
ready

Установим режим совмещенной работы:

**AT+CWMODE=3**

no change

Установим режим множественных соединений (константа 1 указывает на данный режим):

**AT+CIPMUX=1**

OK

Создадим сервер, используя порт №80. Порт 80 используется для передачи данных по протоколу HTTP. В этом случае подключится к серверу можно, подключившись к точке доступа модуля (мы не задавали определенных параметров, использовались настройки по умолчанию) и введя его адрес в строке браузера.

**AT+CIPSERVER=1,80**

OK

IP-адрес можно задать или просто узнать какой был использован по умолчанию командой:

**AT+CIFSR**

192.168.4.1

192.168.0.15

OK

При подключении телефона модуль выдаст ответ

**Link**

и данные запроса браузера в формате:

+IPD,<номер соединения><длина>:<данные>

После подключения клиента необходимо передать данные командой:

**AT+CIPSEND=0,29**

**<h1>Hello</h1><h2>World!</h2>**

0 – номер соединения (присутствует в данных запроса), 29 означает количество байт данных, которые последуют сразу после команды. Максимальный объем пересылаемых данных составляет 2048 байт.

Вторая строка надпись Hello World! в HTML формате, которую пользователь увидит на экране смартфона.

Браузер будет писать, что страница продолжает загружаться пока не модулем не будет разорвано соединение командой:

**AT+CIPCLOSE=0**

Unlink

В программе гидропонной теплицы строка «Hello World» меняется на показания датчиков!

Стоит отметить, что с момента появления модуля сообществом было создано достаточно большое количество библиотек кода, в том числе и для создания web-сервера, которые несколько упрощают создание конечного программного обеспечения.

## 7 Выбор и подключение рН датчика

рН датчик применяется для измерения водородного показателя, который характеризует активность ионов водорода в растворах, воде, пище, объектах окружающей среды, а также для непрерывного контроля технологических процессов на производственных объектах.

Распространены рН датчики для аквариумов, лабораторных целей, а также гидропоники. Такие датчики состоят из двух частей: измерительный зонд (рисунок 19) и измерительная плата для связи с контроллером (рисунок 20). Дело в том, что максимальный срок службы зонда относительно не велик. Некоторые зонды хорошо поддерживают непрерывное погружение в жидкость, некоторые нет. Срок службы первых в чистой воде при температуре 25 градусов по шкале Цельсия составляет около двух лет, вторых около полугода. Агрессивная среда снижает этот показатель до полугода и нескольких недель соответственно.



Рисунок 19 – Измерительный рН зонд



Рисунок 20 – Измерительная плата рН датчика

Действие датчика основано на измерении ЭДС между электродами, которая пропорциональна активности ионов водорода в растворе – рН (т.е. водородному показателю).

То есть зонд представляет, по сути, вольтметр, обычно измерительный электрод – стеклянный, а вспомогательный – хлорсеребряный. В таблице 3 приведена зависимость напряжения на электроде марки SEN0161 от DFRobot.

В общем случае потенциал стеклянных рН-электродов, наиболее распространенных на рынке аквариумов, гидропоники и т.д., изменяется на **55-59** мВ на единицу рН. Эта зависимость, что значительно упрощает схему платы управления.

Таблица 3 – Электрические характеристики рН зонда при температуре 25 градусов по шкале Цельсия

Напряжение, мВ	Значение рН	Напряжение, мВ	Значение рН
414.12	0	-414.12	14
354.96	1	-354.96	13
295.80	2	-295.80	12
236.64	3	-236.64	11
177.48	4	-177.48	10
118.32	5	-118.32	9
59.16	6	-59.16	8
0	7	0	7

К сожалению, для измерения этого напряжения не подойдет обычный вольтметр. Входное сопротивление прибора должно быть очень высоким – входной ток не более  $10^{-10}$  А (а лучше  $10^{-12}$  А), сопротивления изоляции между входами не менее  $10^{11}$  Ом. Это основное требование ко входной схеме измерительной платы и обусловлено оно высоким внутренним сопротивлением стеклянного электрода.

Для обеспечения высокого входного сопротивления измерительной схемы на её входе устанавливается операционный усилитель (повторитель) с высоким входным сопротивлением.

Сегодня на рынке можно встретить готовые модули, работающие на напряжении 5 В, преобразующие данные с рН зонда в диапазон 0-5 В для чтения с помощью АЦП.

Цена таких модулей составляет 17,23\$ - 50+\$. Такая цена обуславливается, в том числе и стоимостью дорогих микросхем с хорошими электрическими характеристиками, например:

LMC6001 от Texas Instruments – цена около 10\$, входной ток всего 25 фА, используется на входе лабораторных рН-метров. Входные параметры этой микросхемы позволяют работать со всеми типами электродов. На

рисунке 21 без изменений приведена схема из документации (datasheet) на микросхему LMC6001 для подключения измерительным рН зондам.

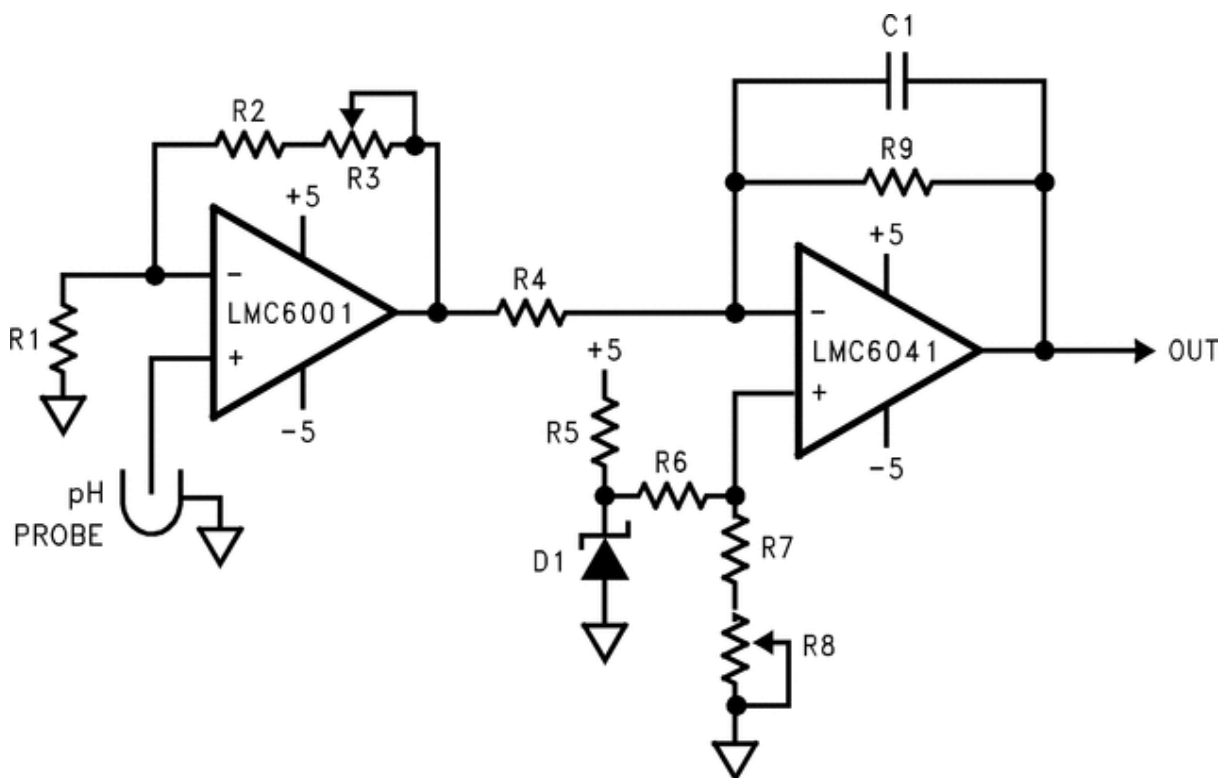


Рисунок 21 – Схема измерения рН на операционном усилителе LMC6001

Схема реализована на двух операционных усилителях, первый усиливает сигнал и имеет настройку коэффициента усиления, второй инвертирует и смещает напряжение на заданную величину.

Первый усилитель неинвертирующий с коэффициентом усиления

$$K_U = 1 + \frac{R2 + R3}{R1} \approx 1 + \frac{68.1 + 8.5}{100} \approx 1,766.$$

Выходное напряжение будет изменяться в диапазоне от -731,33 мВ при рН = 14 до +731,33 мВ при рН = 0.

Так как выбранный микроконтроллер питается напряжением 3,3 В, необходимо преобразовать данный диапазон к 0 – 3,3 В.

Для этого заменим второй усилитель в схеме на рисунке 21 дифференциальный усилитель, показанный на рисунке 22.



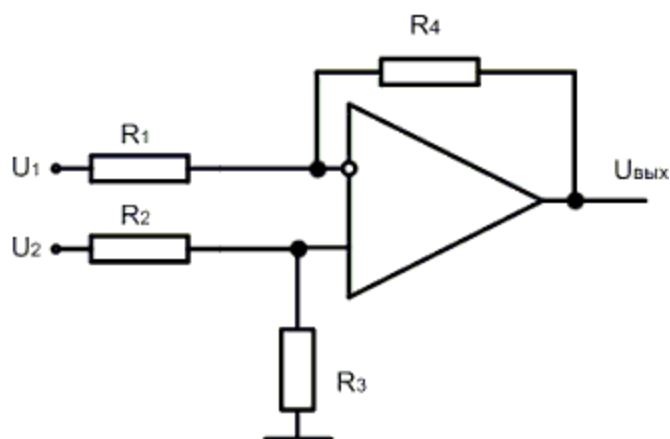


Рисунок 22 – Дифференциальный усилитель

Выходное напряжение схемы определяется следующей формулой:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{R1 + R4}{R2 + R3} \cdot \frac{R3}{R1} \cdot U2 - \frac{R4}{R1} U1,$$

где  $U2$  – напряжение питания 3,3 В;

$U1$  – напряжение с входного усилителя в диапазоне от -0,73В до +0,73В.

Выберем в качестве напряжения при  $pH=7$  напряжение в 1,5 В.

$$U = \frac{100\text{кОм} + 100\text{кОм}}{300\text{кОм} + 100\text{кОм}} \cdot \frac{100\text{кОм}}{100\text{кОм}} \cdot 3,3\text{В} - \frac{100\text{кОм}}{100\text{кОм}} \cdot 0,73\text{В} = 2,38(\text{В}).$$

Номинал резистора  $R2 = 300$  кОм, номиналы остальных резисторов – 100 кОм.

Микросхема LMC6001 достаточно дорогая, рассмотрим аналоги:

СА3140 – операционный усилитель с входным сопротивлением  $1 \cdot 10^{12}$  Ом и током 2 пА, то есть немного хуже, чем LMC6001, но и цена значительно ниже, около 0,5\$.

LF444 – четырехканальный операционный усилитель с входным сопротивлением  $10^{12}$  Ом и током 5 пА.

ОРА344 – ОУ с входным сопротивлением  $10^{13}$  Ом и током 0,2 пА.

И ряд других операционных усилителей с аналогичными параметрами.

Остановимся на микросхеме СА3140, так как она обладает необходимыми минимальными требованиями для подключения рН зонда с одной стороны и низкую цену по сравнению с аналогами с другой.

## 8 Выбор и подключение датчиков температуры и проводимости

Существует достаточно большое количество датчиков для измерения температуры: резистивные детекторы температуры на основе металлов, терморезисторы, термопары, твердотельные датчики температуры, кварцевые и т.д.

В таблице 4 приведены особенности датчиков температуры различных типов.

Таблица 4 – Особенности датчиков температуры различных типов

Датчик	Достоинства	Термистор
Резистивный датчик	высокая точность; стабильность;	четырёхпроводное соединение; нелинейность; дорогой; медленный; при измерении выделяет собственное тепло;
Термистор	высокоэффективный; быстрый; двухпроводное измерение;	низкая стабильность; очень сильная нелинейность; небольшой температурный диапазон; хрупкий;
Интегральный датчик	дешевый; линейный; большое выходное напряжение;	требуется источник питания; выделяет тепло при измерении; медленный; небольшой температурный диапазон < 150 градусов по

		шкале Цельсия
Термопара	дешевый; пассивный датчик; прочный и простой; очень большой температурный диапазон;	большая нелинейность; малое напряжение; требуется эталон температуры; не очень высокая стабильность;
Датчик излучения	измеряет на расстоянии и не нагружает объект;	неточный; дорогой; нужен эталон;
Кварцевый датчик	высокая точность, стабильность, линейность	самый дорогой из приведенных в этой таблице

Оптимальным датчиком для нашего температурного диапазона и условий применения будет интегральный датчик, другие датчики следует использовать, когда необходимо измерять температуру в широком диапазоне или обеспечить высокую точность или измерить на расстоянии.

В наше время широкое распространение получили датчики температуры в интегральном исполнении. Разработчики электроники встраивают почти в любые устройства: телефоны, компьютеры. В датчике используется фундаментальное свойство кремния – зависимость ширины запрещенной зоны от температуры. Обычный температурный диапазон таких датчиков от -55 градусов до 150 градусов Цельсия. Для измерения температуры раствора будем использовать цифровой датчик DS18B20 от maxim integrated.

Датчик выпускается в виде водонепроницаемого зонда ценою около 1,1\$ (рисунок 23).



Рисунок 23 – Датчик DS18b20

По сути это не просто датчик температуры, преобразующий температуру в изменение напряжения на полупроводниковом элементе, это полноценный электронный термометр. В небольшом корпусе, показанном на рисунке 24, помещается цифровая программируемая схема с EEPROM памятью в кристалле.

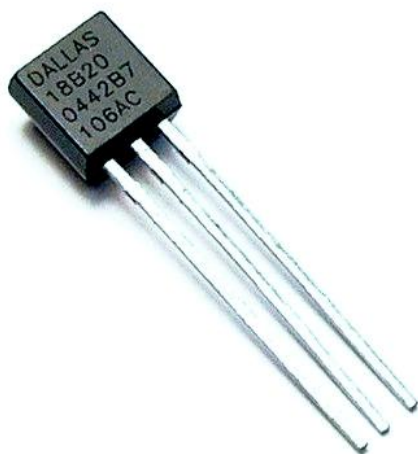


Рисунок 24 – Датчик DS18b20 без водонепроницаемой защиты

Объем информацией осуществляется последовательность прямоугольных импульсов по интерфейсу 1-Wire, использующему только один вывод микроконтроллера. Датчик обеспечивает передачу температуры в микроконтроллер число разрядностью от 9 до 12 бит.

Каждый датчик DS18B20 имеет уникальный 64-битный код, что позволяет организовывать их параллельную работу на одном информационном проводе. Температурный диапазон от -55 до 125 градусов, типичный для датчиков этого типа. Питание требует только 2 вывода, VCC в диапазоне от 3 до 5,5 В и GND. Датчик может работать с логическими уровнями 3,3 В. Разрешающая способность составляет 0,5; 0,25; 0,125 и 0,0625 градусов соответственно для режимов 9,10,11 или 12 бит. Может быть запрограммирован на режим сигнализации достижения определенной температуры среды.

На рисунке 25 представлена схема включения датчика из официальной документации.

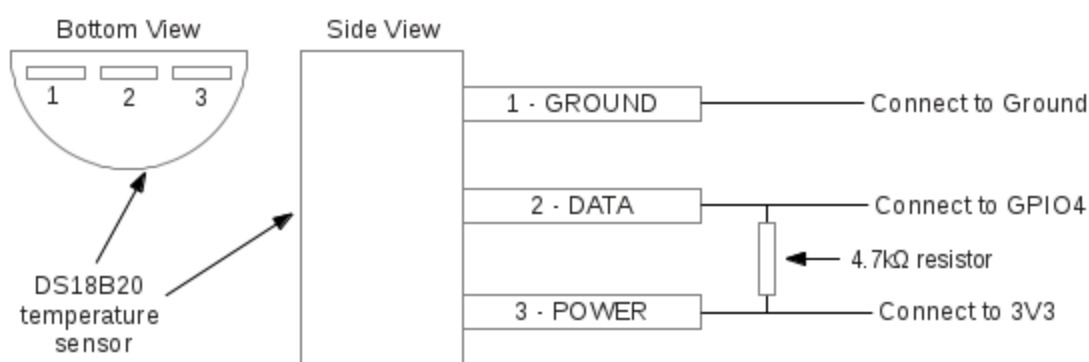


Рисунок 25 – Схема включения цифрового датчика температуры

Следует обратить внимание на обязательное наличие резистора между линией питания и сигнальной линией номиналом 4,7 кОм. Про него легко забыть, но схема работать не будет. Подключать датчик не обязательно к выводам аппаратного UART (Rx, Tx), достаточно к любому выводу цифрового порта. Для датчика существуют свободные библиотеки кода для организации программного интерфейса One-Wire.

Выбор датчика проводимости оказался непростым. Дело в том, что датчики этого типа часто применяются в установках обработки воды, например, в градирнях (устройство для охлаждения воды направленным потоком атмосферного воздуха, применяются на ТЭЦ, АЭС) или системах

обратного осмоса (применяется для получения питьевой воды из морской, или чистой воды для медицины). Например, датчики электропроводности, производимые фирмой ЕМЕС, имеют температурную компенсацию, длину кабеля 4 м (рисунок 26). Цена датчиков начитается от 100+\$, что в нашем случае сравнимо с ценой всех остальных компонентов системы управления гидропонной теплицей.



Рисунок 26 – Датчик проводимости фирмы ЕМЕС

DF Robot предлагает датчик проводимости, показанный на рисунке 27 за 69.90\$ для контроллера Arduino.

Известен удачный проект по созданию датчика проводимости за 3\$ с использованием электрического зонда и датчика температуры DS18B20 для программной компенсации температуры (рисунок 27). Сопротивление зонда складывается из следующих частей (рисунок 28):

$R_a$  – сопротивление вывода, 25 Ом по документации Atmel;

$R_1$  – токоограничивающее сопротивление, 1 кОм;

$R_c$  – сопротивление воды.

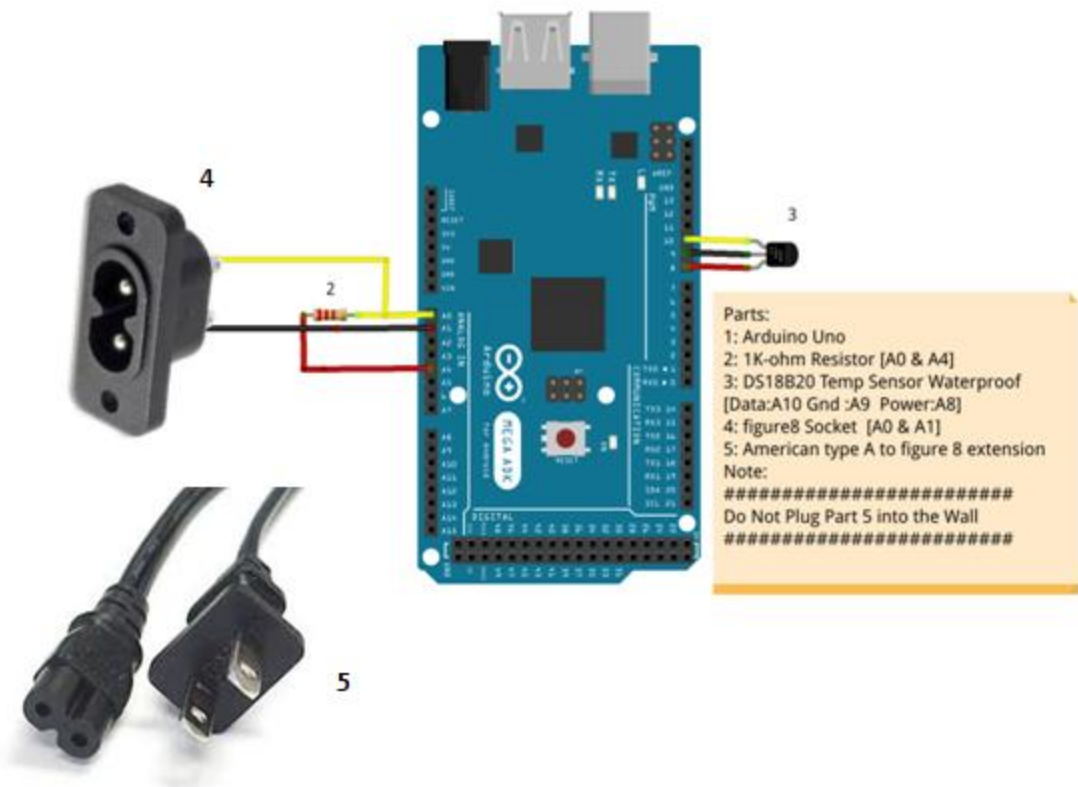


Рисунок 27 – Измерение электропроводности с помощью АЦП контроллера Arduino

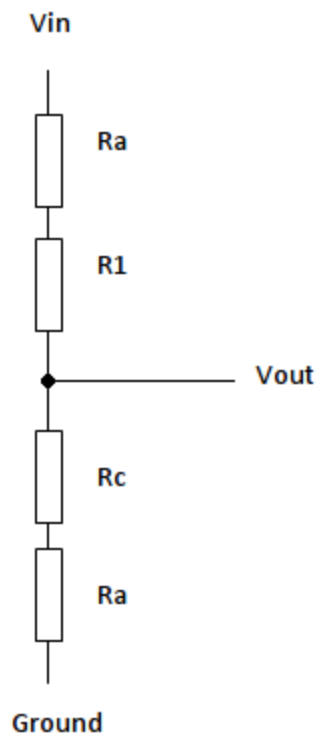


Рисунок 28 – Эквивалентная схема замещения датчика электропроводности



Сопротивление воды в данной схеме составляет от ста Ом при температуре около 0 до 2,2 кОм при температуре 40 градусов Цельсия.

Температура влияет на электропроводность жидкости, поэтому обычно используется электропроводность при 25 градусах. Поэтому после вычисления текущей электропроводности  $EC$  в программе, её необходимо привести к 25 градусам по формуле:

$$EC_{25} = \frac{EC}{1 + \alpha(T - 25)},$$

питательные растворы обычно имеют коэффициент  $\alpha$  равный 0,019. Точное значение  $\alpha$  необходимо вычислить на этапе калибровки датчика.

Измерение электропроводности должно осуществляться не чаще одного раза в 5 секунд: если на зонде останется заряд, жидкость поляризуется, показания будут не точными, а зонд быстро выйдет из строя. Поэтому алгоритм измерения следующий: подаем питание от программируемого вывода микроконтроллера установкой логической единицы на время, считываем напряжение со средней точки делителя напряжения, состоящем из сопротивления жидкости и сопротивления цепи, выключаем питания и ждем достаточно длительный интервал времени перед повторным включением.

## 9 Питание электрических компонентов теплицы

Для работы теплицы необходим насос, а также система освещения. В зависимости от размера могут понадобиться насосы разной мощности и разные источники освещения. Система управления может коммутировать данные приборы с помощью реле по командам пользователя или заложенной программе.

В зависимости от размера емкости, используемой в установке, размер и мощность насоса может быть разными. Для гидропоники используются погружные и поверхностные насосы, применять рекомендуется вторые, но они несколько дороже. На рисунке представлен насос мощностью 10 Вт, способный работать как внешний насос даже в агрессивной среде за счет применения алюминиево-керамического вала.

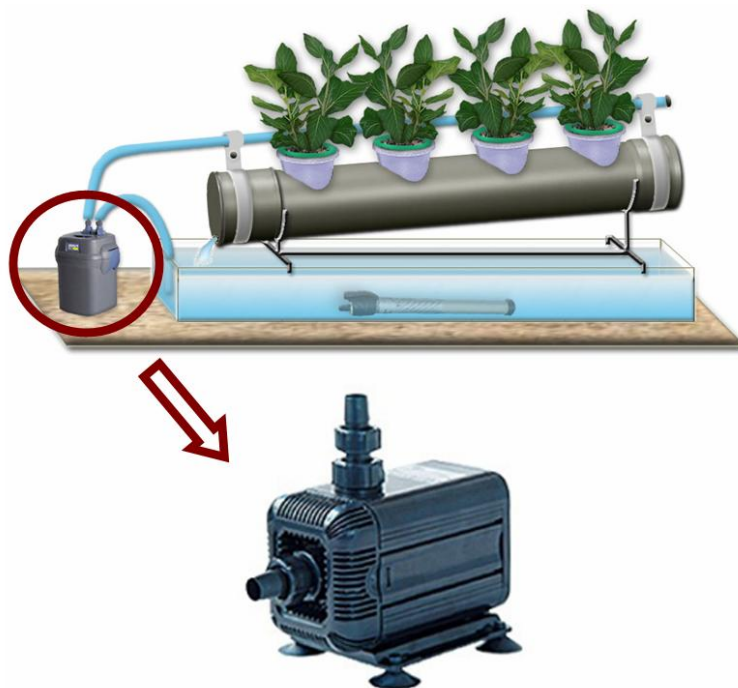


Рисунок 29 – Насос для размешивания и подачи питательного раствора в системы гидропоники

Для освещения могут применяться различные источники света: плазменные лампы, металлогалогенные лампы, натриевые лампы высокого давления, светодиодные светильники.

Исследования показывают, что пик реакции фотосинтеза в листе растений приходится на синий и красный спектр света. Остальной диапазон используется растением слабее. Идеальным светом для растений является сочетание синего и красного света, что для человеческого глаза выглядело бы как фиолетовые сумерки. Светодиодные светильники позволяют облучать растения узкими спектрами света, не тратя энергию на излучение остального спектра. Состоят из светодиодов синего и красного цветов. Производители светодиодных светильников утверждают, что светодиодная лампа мощностью 90 Вт, может заменить 400 Ваттную газоразрядную лампу и сэкономить до 60% затрат на электричество (рисунок 30).



Рисунок 30 – Светодиодная лампа для растений Professional LED Grow Lights 90W UFO

Питание насоса и осветительной системы осуществляется от сети 220 В.

В качестве реле выберем твердотельное МОП-реле средней мощности переменного тока К293КП13П (аналог 5П19Т1), цена которого составляет 140 р./шт. в мае 2016 г. по данным интернет-магазина «ПЛАТАН» ([www.platan.ru](http://www.platan.ru)). Реле может коммутировать нагрузки с

максимальным потребляемым током 1 А и работать на напряжении до 260 В. Входной ток во включенном состоянии составляет от 10 до 25 мА. Схема включения приведена на рисунке 31.

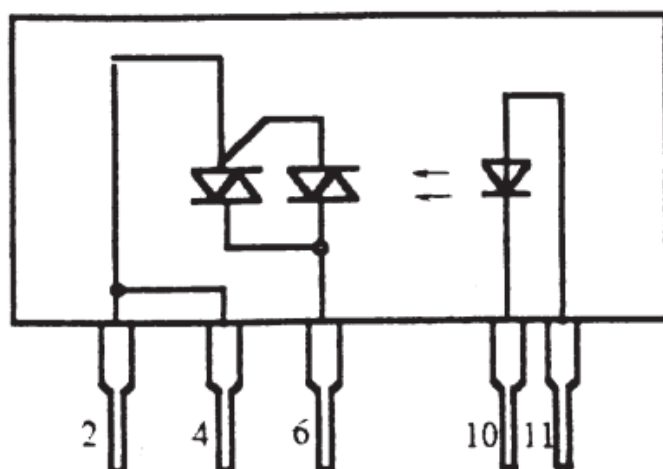


Рисунок 31 – Схема включения реле K293KP13П

Для коммутации подключим вывод 10 реле к GND микроконтроллера, а 11 к линии цифрового порта через токоограничивающий резистор с сопротивлением  $\frac{3,3В}{25 \cdot 10^{-3} А} \approx 132 Ом$ .

Для питания системы управления необходимо 3,3 В. В качестве блока питания выберем стандартный блок питания 6-12 В. Преобразуем напряжение с него в 3,3 используя микросхему линейного регулятора с низким падением напряжения LM1117DT-3.3 (цена около 1,5\$, рисунок 32).

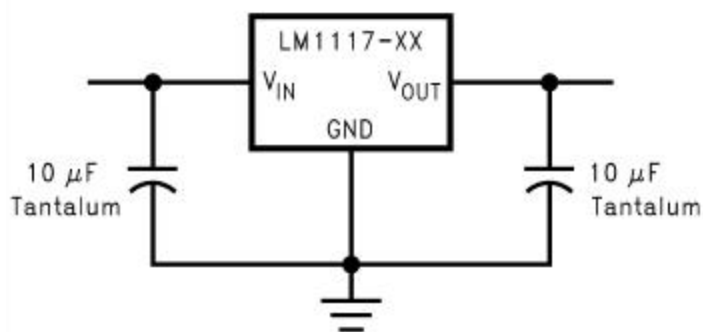


Рисунок 32 – Схема включения LM1117DT-3.3

## 10 Разработка принципиальной схемы

Принципиальная схема электронной системы управления гидропонной теплицы включает следующие элементы:

1. микроконтроллер ATmega8L-8PU;
2. Wi-Fi модуль ESP8226;
3. BNC разъем для подключения стандартного рН зонда;
4. схема усиления сигнала рН зонда на двух операционных усилителях CA3140;
5. цифрового датчика температуры DS18B20;
6. схему датчика проводимости на основе резистивного делителя напряжения;
7. двух реле марки К293КП13П для коммутации насоса и светильника и разъемы для их подключения;
8. линейный регулятор с низким падением напряжения LM117DT-3.3 для питания цифровых схем напряжением 3,3 В;
9. разъем питания 6-12 В.

Принципиальная схема показана на рисунке 33. Для оформления схемы использовалась система автоматизированного проектирования (САПР) проектной документации КОМПАС-График в составе САПР Компас-3D 14.

КОМПАС-График предоставляет широкие возможности автоматизации проектных работ разного профиля. Система решает задачи 2D-проектирования и выпуска документации. Весь функционал системы подчинен целям скоростного создания высококачественных чертежей, схем, спецификаций, расчетно-пояснительных записок, технических условий и инструкций. КОМПАС-График изначально ориентирован на полную поддержку стандартов СПДС и ЕСКД.

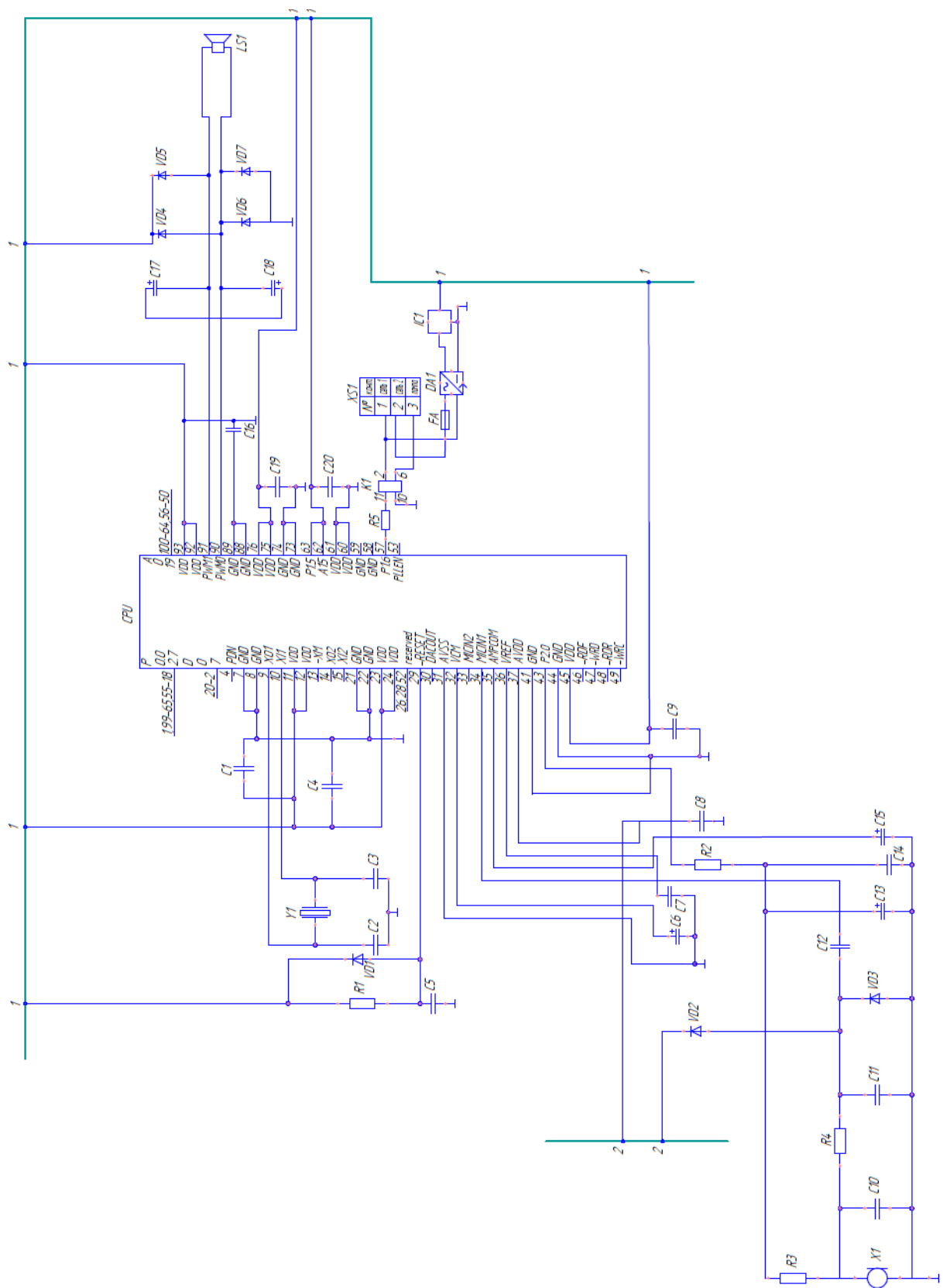


Рисунок 33 – Принципиальная схема

## 11 Алгоритмы работы системы управления и их блок схемы

Блок схемы алгоритмов работы системы управления гидропонной теплицей представлены на рисунке 34.

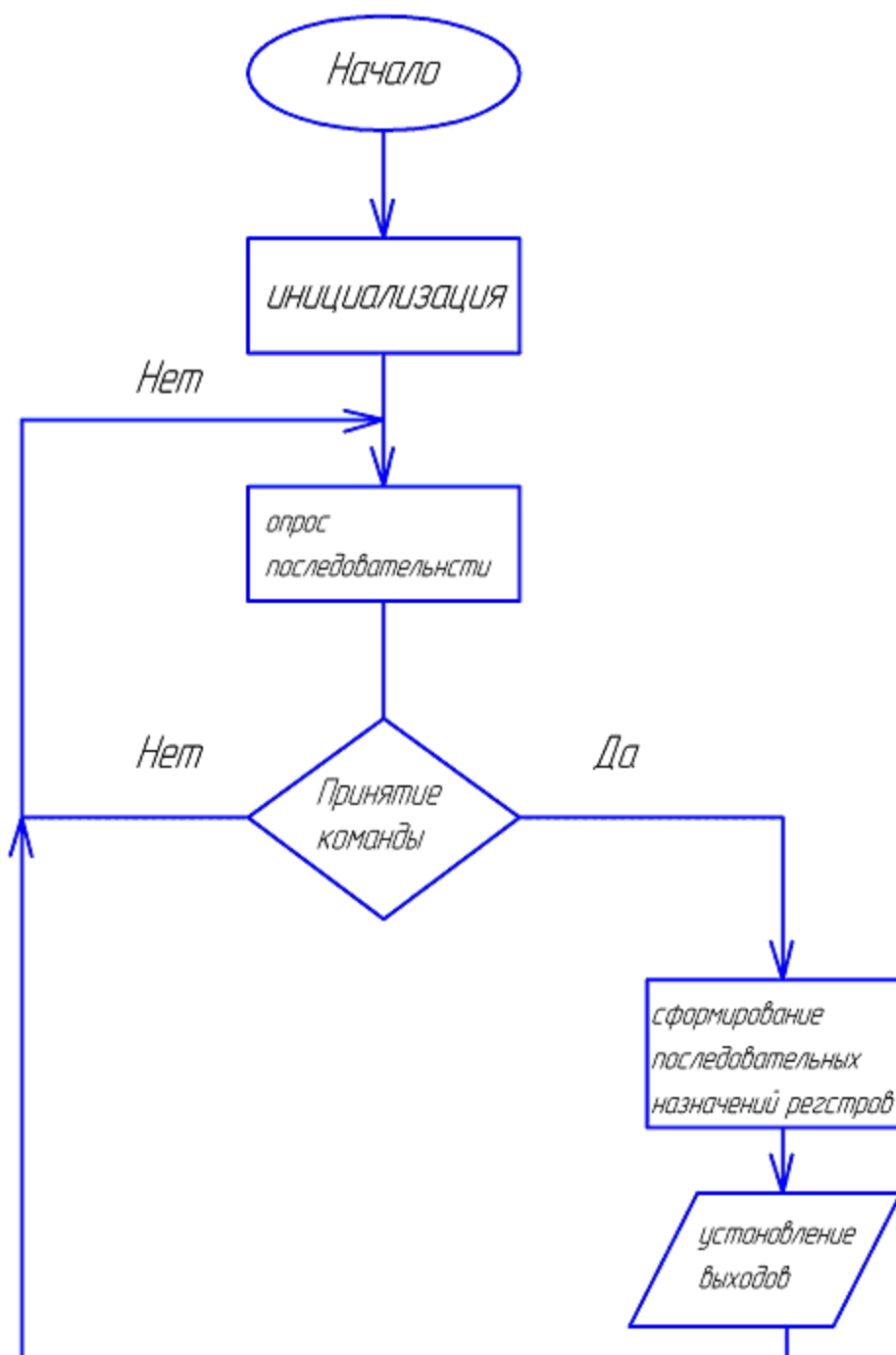


Рисунок 34 – Укрупненная блок-схема алгоритма работы системы управления

## 12 Разработка печатной платы и сборочного чертежа

Печатная плата и сборочный чертеж были созданы с помощью программы DipTrace.

Эта программа позволяет реализовывать проекты электронных средств на уровне схемы или программного кода с последующей передачей информации проектировщику ПЛИС или печатной платы. Отличительной особенностью программы является проектная структура и сквозная целостность ведения разработки на разных уровнях проектирования.

Схемы Wi-Fi модуля, микроконтроллера и других элементов были взяты из их документаций.

Затем данные о расположении и форме дорожек, элементов были экспортированы в программу Компас-3D. Уже в Компас-3D чертежи были подготовлены финальные чертежи по требованиям ЕСКД.

Основные этапы разработки чертежей показаны на рисунках 35-40.

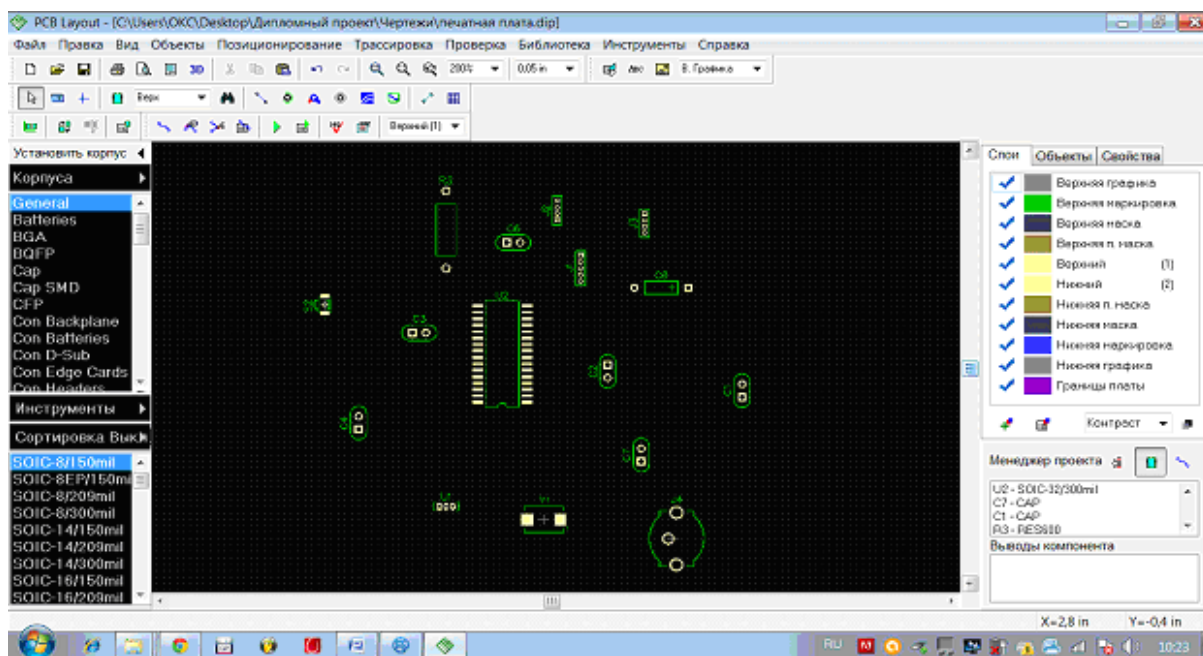


Рисунок 35 – Размещение корпусов элементов



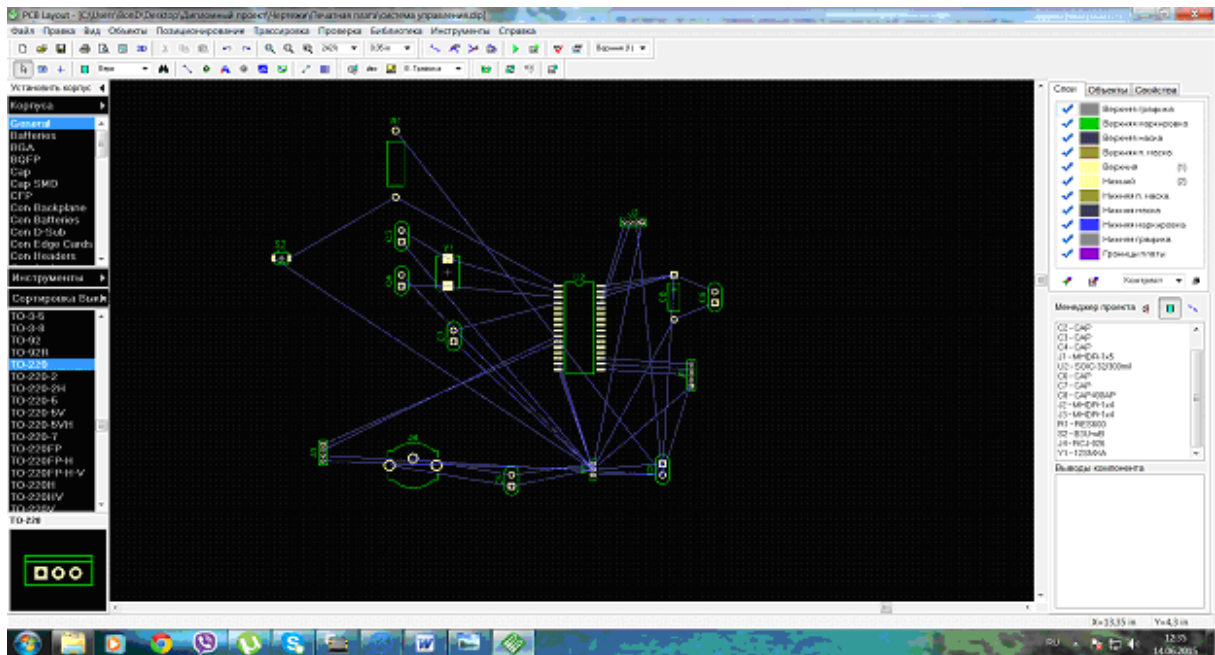


Рисунок 36 – Настройка соединений между элементами платы

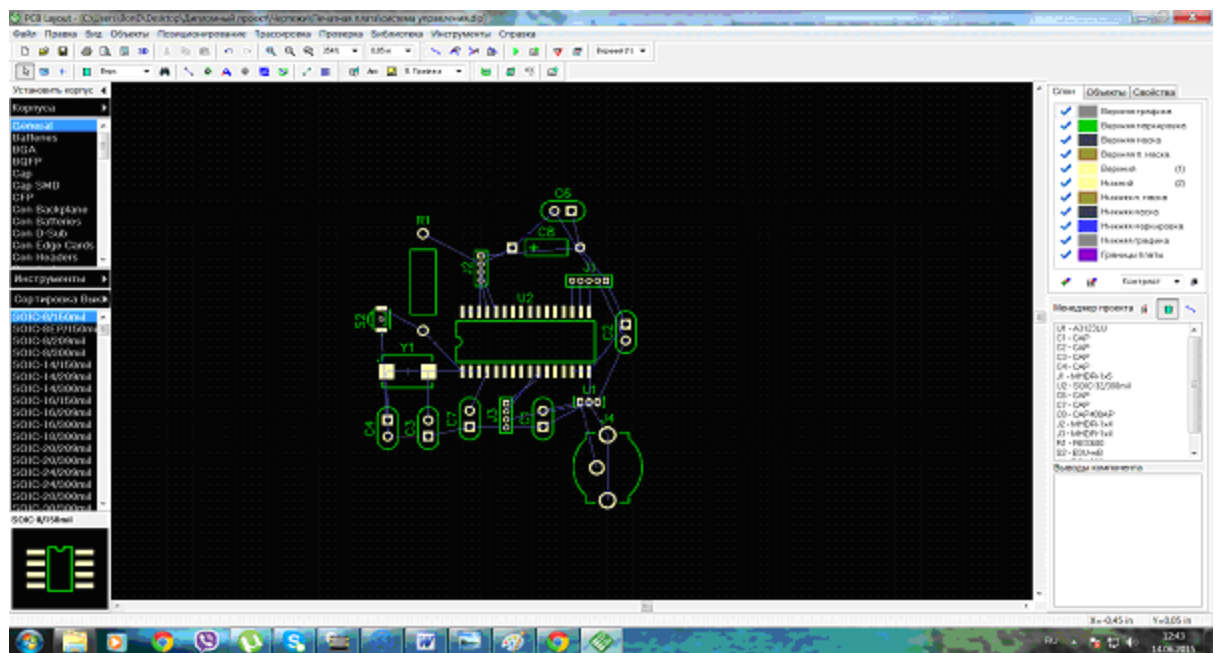


Рисунок 37 – Компоновка элементов платы

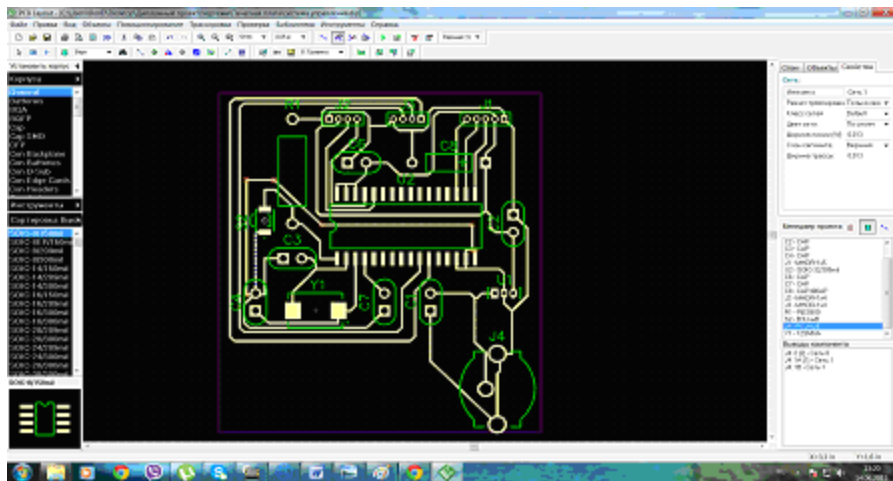


Рисунок 38 – Трассировка дорожек

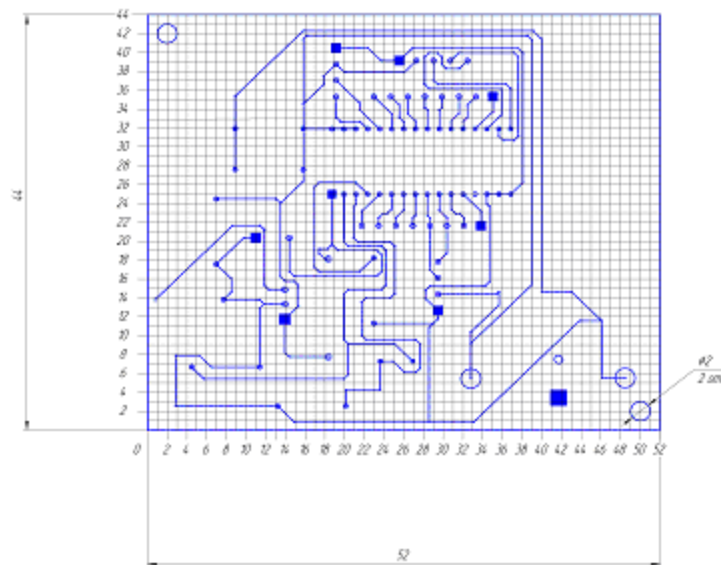


Рисунок 39 – Экспортированная в Компас и оформленная согласно требованиям ЕСКД печатная плата

### **13 Безопасность и экологичность проекта**

Плата системы управления теплицей может изготавливаться на производстве, рассмотрим мероприятия по охране труда на таком производстве.

Под охраной труда на производстве понимается определенный комплекс мероприятий, направленных на создание безопасных условий труда при изготовлении продукции.

Охрана труда – это система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя социально-экономические, социальные, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические и иные мероприятия. При производстве электронных плат необходимо соблюдать технику безопасности, например, при работе паяльником. Чаще всего используют электрический паяльник, и при нем следует соблюдать правила защиты от поражения электрическим током. В работе важно использовать качественные и исправные инструменты. Согласно правилам технической документации, паяльник должен пройти ряд специальных испытаний и проверок. Класс данного оборудования в обязательном порядке должен соответствовать условиям производства и категории помещения. Кроме этого необходимо позаботиться о защите кабеля паяльника от соприкосновения с горячими предметами и защите от случайного механического повреждения. Для пайки малогабаритных радиоэлементов и печатных плат с плотным монтажом как в нашем случае лучше использовать паяльник мощностью не более 25 Вт. Обычно в радиолобительской практике используются паяльники мощностью 25 – 40 Ватт с питанием от сети переменного тока 220 вольт.

Помещение, в котором производится пайка, обязательно должно быть снабжено общей вентиляцией и усиленной местной вентиляцией, защищающей рабочих от вредного воздействия паров и газов,

выделяющихся при пайке. В таблице 5 приведены показатели токсичности различных веществ, применяемых при изготовлении печатных плат.

Таблица 5 – Токсичность некоторых компонентов флюсов

Компоненты флюсов	Класс опасности	Предельно-допустимая концентрация в воздухе рабочего места, мг/м <sup>3</sup>
Этиловый спирт	4	1000
Этилацетат	4	200
Трибутилфосфат	2	0,5
Триэтаноламин	3	5
Солянокислый диэтиламин	4	30
Солянокислый гидразин	1	0,1
Ортофосфорная кислота	-	1
Борный ангидрид	3	5
Полиэфирная смола марки ПН-9, ПН-56	3	5

Проводить пайку и лужку без использования специальных защитных очков не допускается. Рабочее место должно быть оборудовано светильниками с непросвечивающими отражателями. Приборы освещения необходимо расположить так, чтобы свет не «бил» в глаза работнику. В процессе пайки довольно легко получить пусть и небольшой, но ожог. Чаще всего ожогам подвергаются пальцы и кисти рук. Причиной ожогов обычно является спешка и плохая организация рабочего места.

При работе с теплицей необходимо рассмотреть несколько важных моментов. Если используется погружной насос, то необходимо следить за тем чтобы он полностью находился под водой, не «хватал» воздух. Иначе насос выйдет из строя очень быстро. Необходимо следить на состоянием

электрических соединителей и частей, располагающихся вблизи с водой. Со временем проводники могут оголиться, что вызовет короткое замыкание. Устанавливать систему управления желательно вдали от непосредственно емкостей с раствором. Зонды всех датчиков в целом допускают постоянное погружение в раствор, однако срок их службы ограничен, при длительной эксплуатации они потребуют замены в любом случае. Основной модуль выполнен на единой печатной плате и его компоненты в целом обладают достаточно высокой надежностью, поэтому любые его поломки подразумевают диагностику отдельных его частей, микросхем. Для повышения надежности платы системы управления используется внешний стандартный блок питания от 6 до 12 В, который может быть заменен на аналогичный в случае поломки.

## 14 Экономический расчет проекта

Подсчитали стоимость всех компонентов, используемых в электронной плате управления гидропонной установкой, результаты представлены на рисунке 41.

Таблица – цена комплектующих

№	Обозначение	Название	Количество	Цена, р.
1	C1	K73-17, 0.33 мкФ	1	12
2	C2,C5,C7	K10-17A H50 0.1 мкФ	3	27
3	C3,C4	ЕСАР (K50-35), 22 мкФ	2	21
4	C6	ЕСАР (K50-35), 10 мкФ	1	2.2
5	R1	CF-25 (C1-4) 0.25 Вт, 1 кОм	1	0.9
6	ZQ1	16.000 МГц (усечен) HC-49S	1	14
7	DD1	ATMEGA168-20PU AVR 16K-Flash/1K-RAM/512-EEPROM • 8x10 ADC, Uпит=2,7...5,5V	1	223
8	DD2	ESP8266	1	200
9	XP1	REXANT(клемма для кроны)	1	10
10	XP2	Polarized Header 5 Pin Male	1	19
11	XP3	Разъем IDC-4	1	18
12	XS1,XS2	Polarized Header 4 Pin Male	2	18
13	XS3,XS4	Polarized Header 8 Pin Male	2	20
14	0	Стеклотекстолит	5*4см	10
			Итого	647

Рисунок 41 – Расчет стоимости комплектующих электронной платы управления

## **Заключение**

В рамках выпускной квалификационной работы показана актуальность гидропонных систем и перспективность их автоматизации за счет использования микропроцессорных систем управления. Разработана структурная схема теплицы, выделено три основных электрических модуля: насос, система освещения и система управления. Разработана плата системы управления с использованием современной элементной базы, позволяющая управлять теплицей дистанционно с помощью смартфона или компьютера, подключенного к сети. Сделан обоснованный выбор всех элементов схемы: микроконтроллера, модуля Wi-Fi, датчиков, блока питания и коммутации насоса и светильника. Система управления отслеживает параметры среды с помощью датчиков трех видов: pH, температуры и электропроводности и сообщает их пользователю через web-сервер, организованный с помощью модуля esp8226. На основе операционных усилителей реализована схема усиления напряжения pH зонда. Разработана схема датчика электропроводности. Представлена принципиальная схема системы управления, печатная плата и сборочный чертеж. Выполнен анализ экологичности и экономичности проекта.

## Литература

1. Алиев Э.А. Выращивание овощей в гидропонных теплицах. – 2-е изд., доп. и перераб. – Киев: Урожай, 1985. – 160 с.
2. Тексье У. Гидропоника для всех // Перевод с англ. Оганян А. – Париж: Изд-во HydroScore. 2013. – 296 с.
3. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М.: Интернет-портал «Флора», 2016. – Режим доступа: <http://floragrow.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Александров А.А. Электротехнические чертежи и схемы / Александров К.К., Кузьмина Е.Г. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 288с.
5. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М.: Интернет-портал «THE WALL Magazine», 2016. – Режим доступа: <http://thewallmagazine.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.