

## 6. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАКЕТОВ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.

В настоящее время компьютеризация ускоренными темпами проникает в деятельность исследовательских и проектных организаций, поднимая проектную работу на принципиально новый уровень, при котором значительно ускоряются скорость и качество проектирования, сложные инженерные задачи решаются с большим обоснованием. Во многом этому способствует использование высокоэффективных специализированных программ, реализуемых как в виде самостоятельных программных продуктов, так и в виде надстроек и приложений к известным пакетам прикладных программ [60].

В наши дни все крупные научно-исследовательские и проектные институты, производственные предприятия и инжиниринговые фирмы в своей работе применяют компьютерные системы технологического моделирования, сменившие программы расчета технологических процессов. САМ/CAE-системы представляют собой «программные конструкторы», позволяющие достаточно быстро «собирать» практически любые процессы и технологические схемы, выполнять многовариантные расчеты технологических режимов функционирования, материальных и тепловых балансов, основных показателей качества сырья и продукции [61].

Для профессионального использования моделирования необходима разработка технологических моделей, адекватных реальным объектам и явлениям. Для этого модели предварительно настраивают с использованием результатов исследований потоков и параметров внутреннего состояния моделируемого объекта так, чтобы в процессе вычислительного эксперимента воспроизвести с высокой степенью точности количественные и качественные характеристики продукции, режимные параметры процесса. Качество проектирования и расчета новых технологических объектов зависит во многом от точности имеющейся информации о составе сырья. При этом модели разрабатываемых объектов необходимо настраивать на основании данных об эксплуатации аналогичных действующих объектов [61].

Существует большое количество программных пакетов для решения различного рода инженерных задач. Однако современные программные пакеты позволяют ускорить и упростить процесс моделирования, предоставляя при этом достаточно точные результаты.

Система автоматизированного проектирования *SolidWorks* для использования на персональном компьютере в операционной среде *Microsoft*

*Windows*. В *SolidWorks* используется принцип трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования, что позволяет конструктору создавать объемные детали и компоновать сборки в виде трехмерных электронных моделей, по которым создаются двухмерные чертежи и спецификации в соответствии с требованиями [62].

С помощью программы *SolidWorks* можно увидеть будущее изделие со всех сторон в объеме и придать ему реалистичное отображение в соответствии с выбранным материалом для предварительной оценки дизайна. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения [63].

Решаемые задачи [64]:

- 3D-проектирование изделий (деталей и сборок) любой степени сложности с учётом специфики изготовления;
- Создание конструкторской документации в строгом соответствии с ГОСТ;
- Инженерный анализ (прочность, устойчивость, теплопередача, частотный анализ, динамика механизмов, газо/гидродинамика, оптика и светотехника, электромагнитные расчёты, анализ размерных цепей и пр.);
- Экспресс-анализ технологичности на этапе проектирования;
- Анализ технологичности конструкции изделия;
- Разработка технологических процессов и др.

*ANSYS* – это программный пакет конечно - элементного анализа, решающий задачи в различных областях инженерной деятельности, включая связанные междисциплинарные задачи. *ANSYS* – это профессиональный конечно-элементный расчетный комплекс, позволяющий решать задачи прочности, теплообмена, электромагнетизма, гидрогазодинамики как по отдельности, так и совместно [65].

*Altium Designer* – комплексная система автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств, разработанная австралийской компанией *Altium* и является самой распространённой системой проектирования электроники.

Данная САПР позволяет легко создавать проекты печатных плат с помощью интуитивно понятного и функционального интерфейса, который позволяет взаимодействовать со всеми аспектами процесса проектирования электроники [66].

*Workbench* – это единая интерактивная среда, интегрирующая различные программные продукты, разрабатываемые *ANSYS, Inc.* как друг с другом, так и с *CAD*-системами, имеющая модульную структуру и дающая новые воз-

Печатная плата устанавливается на стойки и крепиться к корпусу через монтажные отверстия с помощью шурупов. В свою очередь корпус состоит из двух деталей, крепящихся друг к другу с помощью шурупов. Соединение деталей корпуса показано на рисунке 7.3. В качестве материала корпуса выбрана нержавеющая сталь 08Х22Н6Т. Выбор нержавеющей стали в качестве материала корпуса обусловлен такими факторами как безопасность эксплуатации и техническими характеристиками.

В связи с тем, что выходное напряжение устройства является не безопасным для человека, корпус должен быть заземлён. Также нержавеющая сталь имеет следующие преимущества по сравнению с другими сплавами:

- Простота обработки и изготовления;
- Высокий уровень антикоррозионных свойств, и износостойкости;
- Длительный срок эксплуатации без изменений внешнего вида;
- Хорошо сочетается с другими материалами — стеклом, пластиком, деревом, бетоном, металлом, мрамором, камнем, гранитом и кирпичом;
- Устойчивость к царапинам;
- Легко поддается свариванию и холодной штамповке;
- Не требует дополнительной обработки, например, покраски. Обладает прекрасным эстетическим видом;
- Возможность полной переработки;
- Высокие гигиенические свойства;
- Способность к восстановлению поверхности после повреждений;

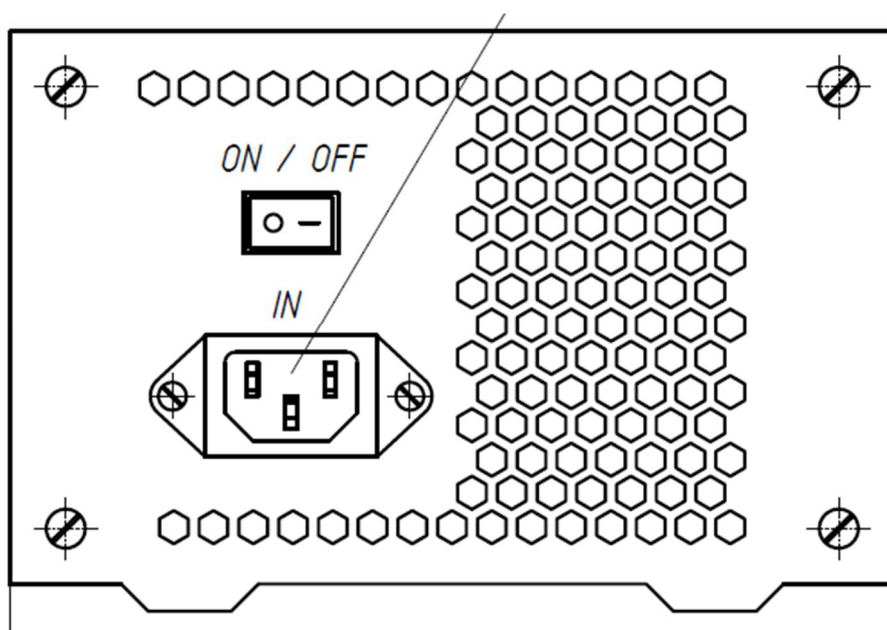


Рисунок 7.3 – Соединение деталей корпуса

## 9. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ WI-FI МОДУЛЕМ

### 9.1 Анализ внутреннего строения модуля

Для осуществления дистанционного управления блоком питания СВЧ магнетрона средней мощности выбран *Wi-Fi* модуль *ESP-01S*, в основе которого лежит чип *ESP8266*.

Модуль *ESP-01S* показан на рисунке 9.1.

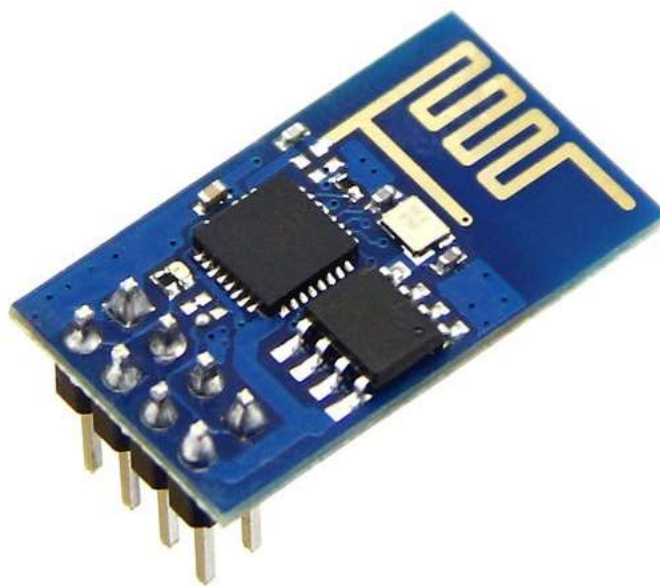


Рисунок 9.1 – Модуль *ESP-01S*

Сердцем данного модуля является чип *ESP8266*, в который встроен 32-разрядный RISC-процессор *Tensilica L106*, обеспечивающий сверхнизкое энергопотребление и максимальную тактовую частоту 160 МГц. Операционная система реального времени (RTOS) и стек *Wi-Fi* позволяют использовать 80% вычислительной мощности для программирования и разработки пользовательских приложений [73].

Процессор включает в себя интерфейсы, перечисленные ниже.

- Программируемые интерфейсы RAM/ROM (iBus), которые могут быть связаны с памятью контроллер, а также может использоваться для посещения flash.
- Интерфейс ОЗУ данных (dBus), который может быть связан с контроллером памяти.
- Интерфейс АНВ, который можно использовать для посещения реестра.

Таблица 10.3. – Формирование отпускной цены нового изделия на основе полной себестоимости

Показатель	Формула/таблица для расчёта	Сумма, р.
1. Материалы	Таблица 10.1	29,1
2. Покупные комплектующие изделия	Таблица 10.2	553,8
3. Накладные расходы	$P_{\text{накл}} = \frac{(29,1 + 553,8) \cdot 54}{100}$	314,8
4. Полная себестоимость	$C_{\text{п}} = 29,1 + 553,8 + 314,8$	897,7
5. Плановая прибыль	$P_{\text{ед}} = \frac{897,7 \cdot 25}{100}$	224,4
6. Отпускная цена изделия	$C_{\text{отп}} = 897,7 + 224,4$	1122,1

По итогу расчетов отпускная цена изделия составляет 1122,1 руб.

### 10.3 Расчет экономического эффекта от производства и реализации новых изделий

Экономическим эффектом от производства и реализации новых изделий является прирост чистой прибыли, полученной от их реализации.

Расчет прироста чистой прибыли у предприятия–производителя от реализации новых изделий (при формировании цены на основе полных затрат) осуществляется по формуле:

$$\Delta\Pi_{\text{ч}} = N_{\text{п}} \cdot P_{\text{ед}} \left(1 - \frac{H_{\text{п}}}{100}\right) [p]. \quad (10.7)$$

где  $N_{\text{п}}$  – прогнозируемый годовой объём производства и реализации, шт.

$P_{\text{ед}}$  – плановая прибыль, приходящаяся на единицу изделия, р.;

$H_{\text{п}}$  – ставка налога на прибыль согласно действующему законодательству, % ( $H_{\text{п}} = 18\%$ ).

В первый год реализации проекта запланирована разработка и производство первой партии в объеме 500 шт. дистанционно управляемого источника питания СВЧ магнетрона и их реализация.

Используя данные из (табл. 10.3) получим следующее значение для прироста чистой прибыли за первый год реализации проекта:

$$\Delta\Pi_{q_1} = 500 \cdot 224,4 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 92004 \text{ р.},$$

В последующие годы реализации проекта запланирована производство и реализация партий в объеме 1000 шт, ввиду отсутствия затрат на разработку и тестирование.

Тогда прирост чистой прибыли за следующий год по формуле (10.7) составит:

$$\Delta\Pi_{q_{2-3}} = 1000 \cdot 224,4 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 184008 \text{ р.},$$

#### **10.4 Расчет инвестиций в производство нового изделия**

Инвестиции в разработку нового изделия будем оценивать исходя из затрат на разработку нового изделия инженерами следующим образом:

1. Расчет основной заработной платы по следующей формуле:

$$З_o = K_{\text{пр}} \sum_{i=1}^n З_{\text{дн}i} \cdot T_i [\text{р}]. \quad (10.8)$$

где  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент премий ( $K_{\text{пр}} = 1,3$ );

$n$  – категории исполнителей, занятых разработкой усовершенствованного изделия;

$З_{\text{дн}i}$  – дневная заработная плата исполнителя  $i$ -й категории, р.;

$T_i$  – продолжительность участия в разработке исполнителя  $i$ -й категории, д.

Расчет основной заработной платы по формуле (10.8) приведен в табличной форме (табл. 10.4).

Таблица 10.4 – Расчет заработной платы разработчиков нового изделия

Категория исполни-теля	Числен- ность исполни- телей, чел.	Месяч- ный оклад, р.	Дневной оклад, р.	Продолжи- тель-ность участия в раз- работке, д.	Сумма, р.
1 Руководитель проекта	1	1900	90,47	21	2000,00
2 Инженер- конструктор	1	1570	74,76	15	1121,40
3 Инженер- технолог	1	1500	71,43	10	571,40
4 Нормо- контролёр	1	1200	57,14	7	571,40
5 Сборщик	1	900	42,85	3	219,05
Итого	5	7070	336,66	56	4264,25
Премия и иные стимулирующие выплаты ( $K_{пр} = 1,3$ )					1279,28
Всего основная заработная плата					5543,53

2. Расчет дополнительной заработной платы разработчиков по формуле:

$$З_д = \frac{З_о \cdot Н_д}{100}, [p]. \quad (10.9)$$

где  $Н_д$  – норматив дополнительной заработной платы, ( $Н_д = 10\%$ ).

3. Отчисления на социальные нужды рассчитываются по формуле:

$$P_{соц} = \frac{(З_о + З_д) \cdot Н_{соц}}{100} [p]. \quad (10.10)$$

где  $Н_{соц}$  – ставка отчислений в ФСЗН и Белгосстрах, % ( $Н_{соц} = 34,6\%$ ).

Расчет инвестиций на разработку нового изделия проводится по формуле:

$$И_p = З_о + З_д + P_{соц} [p]. \quad (10.11)$$

Результат расчета затрат на разработку нового изделия приведен в таблице 10.5.

Таблица 10.5 – Расчет инвестиций на разработку нового изделия

Наименование статьи затрат	Формула/таблица для расчёта	Сумма, р.
1. Основная заработная плата разработчиков	Таблица 10.4	5543,53
2. Дополнительная заработная плата разработчиков	$Зд = \frac{5543,53 \cdot 10}{100}$	554,35
3. Отчисления на социальные нужды	$P_{соц} = \frac{(5543,53 + 554,35) \cdot 34,6}{100}$	2109,87
4. Инвестиции на разработку нового изделия	$I_p = 5543,53 + 554,35 + 2109,87$	8207,75

Инвестиции в прирост основного капитала не требуются, т. к. производство нового изделия планируется осуществлять на действующем оборудовании в связи с наличием на предприятии–производителе свободных производственных мощностей.

Расчёт инвестиций в прирост собственного оборотного капитала приведен ниже.

Годовая потребность в материалах определяется по формуле:

$$П_m = P_m \cdot N_{\Pi} = 29,1 \cdot 1000 = 29100 \text{ р.} \quad (10.12)$$

Годовая потребность в комплектующих изделиях рассчитывается по формуле:

$$П_k = P_k \cdot N_{\Pi} = 553,8 \cdot 1000 = 553800 \text{ р.} \quad (10.13)$$

Инвестиции в прирост собственного оборотного капитала в процентах от годовой потребности в материалах и комплектующих изделиях (исходя из среднего уровня по экономике: 20–30 %) рассчитываются по формуле:

$$I_{сок} = (0,25) \cdot (П_m + П_k) = 0,25 \cdot (29100 + 553800) = 145725 \text{ р.} \quad (10.14)$$

Общая сумма инвестиций рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{общ} = I_p + I_{сок} = 8207,75 + 145725 = 153932,75 \text{ р.} \quad (10.15)$$



Оценка экономической эффективности инвестиций в производство нового изделия осуществляется на основе расчета простой нормы прибыли (рентабельности инвестиций (затрат)) по формуле:

$$P_{и} = \frac{П_{ч} - И_{общ}}{П_{ч}} \cdot 100 \% \quad (10.16)$$

где  $И_{общ}$  – общая сумма инвестиций в производство нового изделия, р.

$П_{ч}$  – чистая прибыль, получаемая от производства нового изделия, р.

Найдем среднюю норму рентабельности инвестиций по следующей формуле (10.16):

$$P_{и} = \frac{184008 - 153932,75}{153932,75} \cdot 100 \% = 19,54\%,$$

Средняя норма рентабельности инвестиций превысила ставку рефинансирования, равную 15%, откуда можно сделать вывод об экономической эффективности инвестиций в производство дистанционно управляемого источника питания СВЧ магнетрона.

По итогу проведения технико-экономического обоснования инвестиций в разработку дистанционно управляемого источника питания СВЧ магнетрона были получены следующие результаты:

1. Проектируемое устройство конкурентоспособно на рынке среди аналогов;
2. Общие инвестиции в разработку составили 153932,75 руб.;
3. Себестоимость единицы изделия 897,7 руб., а отпускная цена составила 1122,1 руб.;
4. При производстве партии устройств в 1000 шт. предприятие-производитель получит экономический эффект в виде чистой прибыли 184008 руб.;

Средняя норма рентабельности инвестиций  $P_{и}=19,54 \%$  превысила ставку рефинансирования, равную 15%, следовательно, разработка в производство дистанционно управляемого источника питания СВЧ магнетрона экономически целесообразны.

## **11 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ СВЧ МАГНЕТРОНА СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

Ненадлежащая защита от поражений электрическим током может привести к самым неприятным последствиям. Степень опасности зависит от вида, продолжительности воздействия, силы и напряжения тока, а также от ряда сторонних факторов (уровня влажности помещения, возраста и физического состояния человека) [72].

Наиболее распространенными причинами электротравматизма являются:

- 1 Появление напряжения там, где его в нормальных условиях быть не должно (на корпусах оборудования, на металлических конструкциях сооружений и т.д.); чаще всего это происходит вследствие повреждения изоляции;
- 2 Возможность прикосновения к незащищенным токоведущим частям при отсутствии соответствующих ограждений;
- 3 Воздействие электрической дуги, возникающей между токоведущей частью и человеком в сетях напряжением выше 1000В, если человек окажется в непосредственной близости от токоведущих частей;
- 4 Прочие причины, такие как: несогласованные и ошибочные действия персонала, подача напряжения на установку, где работают люди, оставление установки под напряжением без надзора и т.д.

Основным фактором, обуславливающим исход поражения электрическим током, является сила тока, проходящего через тело человека.

Напряжение, приложенное к телу человека, также влияет на исход поражения, но лишь постольку, поскольку оно определяет значение тока, проходящего через человека.

Ощутимый ток — электрический ток, вызывающий при прохождении через организм ощутимые раздражения. Ощутимые раздражения вызывает переменный ток промышленной частоты силой 0,6...1,5 мА и постоянный ток силой 5...7 мА. Токи указанных значений являются пороговыми ощутимыми токами, с них начинается область ощутимых токов.

Неотпускающий ток — электрический ток, вызывающий при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник. Пороговый неотпускающий ток — это переменный ток силой 10...15 мА и постоянный — силой 50...60 мА. При таком токе человек уже не может самостоятельно разжать руку, в которой зажата токоведущая часть и оказывается, как бы прикованным к ней.

Фибрилляционный ток — электрический ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца. Пороговым фибрилляционным током является переменный ток силой 100 мА и постоянный — силой 300 мА при длительности действия 1...2 с по пути «рука–рука» или «рука–ноги». Фибрилляционный ток может достичь 5 А. Ток больше 5А фибрилляцию сердца не вызывает. При таких токах происходит мгновенная остановка сердца [73].

Рассмотрим случай, когда рабочий прикоснулся к корпусу установки пайки волной ETS – 330. Установка питается от трехфазной сети с заземленной нейтралью. На корпус пробито фазное напряжение (рисунок 11.1).

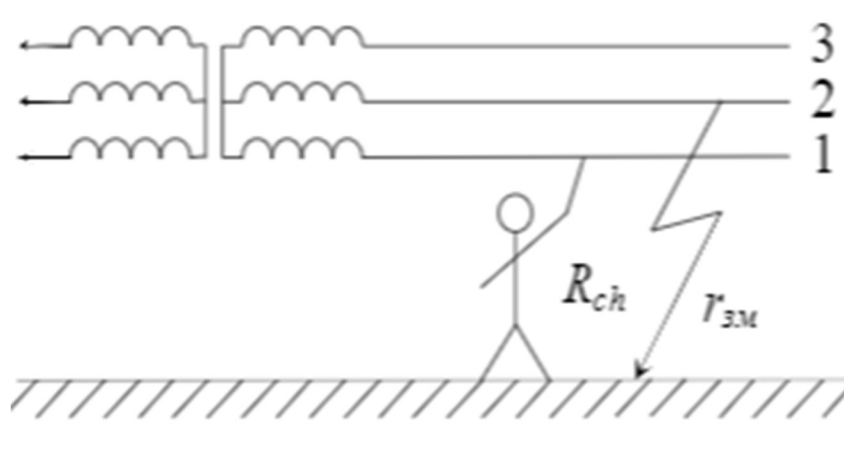


Рисунок 11.1 – Прикосновение к корпусу, оказавшимся под напряжением

Значение тока, проходящего через человека в указанных условиях, определяется по следующей формуле:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_{ch} + r_{зм}} \text{ [мА]}. \quad (11.1)$$

где  $U_\phi$  – фазное напряжение, В ( $U_\phi = 380\text{В}$ );

$r_{зм}$  – сопротивление заземления нейтрали, Ом ( $r_{зм} = 4 \text{ Ом}$ );

$R_{ch}$  – сопротивление в сети тела человека.

При расчете необходимо знать сопротивление в цепи человека, которое рассчитывается по следующей формуле:

$$R_{ch} = R_h + R_{об} + R_{ос} \text{ [Ом]}. \quad (11.2)$$

где  $R_h$  – сопротивление тела человека, Ом;

$R_{об}$  – сопротивление обуви, Ом;

$R_{ос}$  – сопротивление основания на котором стоит человек, Ом.

Сопротивление тела человека  $R_h$  при напряжениях прикосновения  $U_{пр} \leq 50В$  принимается равным 1 кОм, а при  $U_{пр} > 50В$  – 6 кОм.

Электрическое сопротивление основания  $R_{ос}$ , если человек стоит на полу – от материала и степени влажности пола. Сопротивление обуви  $R_{об}$  зависит от материала подошвы, влажности помещения и приложенного напряжения.

Сопротивление основания, выполненное из бетона  $R_{ос} = 0,9$  кОм. В случае применения обуви, изготовленной из резины  $R_{об} = 0,5$  кОм.

Используя полученные справочные данные рассчитаем сопротивление человека в цепи по формуле (11.1):

$$I_h = \frac{380}{(6 + 0,5 + 0,9) \cdot 10^3 + 4} \approx 51,35 \text{ мА}$$

Так как значение  $I_h$  примерно в 5 раз превышает значение порогового неотпускающего тока, равное 10...15 мА, следовательно, для обеспечения электробезопасности следует применить один из следующих способов защиты: защитное заземление, зануление, защитное отключение.

При наличии зануления опасность электропоражения при прикосновении к зануленным частям (корпусу) оборудования и при замыкании на них питающего напряжения сети устраняется отключением оборудования от сети в результате срабатывания отключающего устройства (например, перегорание плавкой вставки предохранителя), вызванного большим током короткого замыкания.

Расчёт на отключающую способность заключается в расчёте тока короткого замыкания  $I_{кз}$ , величина которого определяется проводимостью фазных и нулевых защитных проводников и достаточна для срабатывания устройства отключения установки (предохранитель, электромагнитный расцепитель и т.п.) от сети:

$$I_{кз} \geq k \cdot I_n \quad (11.3)$$

где  $k$  – коэффициент кратности номинального тока ( $k = 3$  для плавкой вставки предохранителя);

$I_n$  – номинальный ток срабатывания устройства защиты, который определяется исходя из потребляемой мощности установки по следующей формуле:

$$I_n = k_n \frac{N_y}{U} \quad [A]. \quad (11.4)$$

где  $k_n$  – коэффициент надежности ( $k_n = 1,1$ );

$N_y$  – мощность установки, Вт.

Определим номинальный ток срабатывания, используя данные из паспорта установки  $N_y = 15\text{ кВт}$  и  $U = 400\text{ В}$  по формуле (11.4):

$$I_n = 1,1 \frac{15\,000}{400} = 41,25\text{ А}$$

Ток однофазного короткого замыкания без учёта тока, протекающего через землю, величина которого незначительна, может быть определен по формуле:

$$I_{кз} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_m}{3} + Z_n} \text{ [А]}. \quad (11.5)$$

где  $Z_m$  – модуль полного сопротивления обмоток источника питания (трансформатора), Ом;

$Z_n$  – модуль сопротивления петли «фаза-нуль», Ом.

Рекомендуется применять силовые трансформаторы со схемами включения обмоток «треугольник – звезда» ( $A/Y_n$ ) при мощности  $400\text{ кВт} \cdot \text{А}$  и выше и «звезда – зигзаг» ( $Y/Z_n$ ) при мощности  $250\text{ кВт} \cdot \text{А}$  и ниже.

Для работы установки будет применяться трансформатор со схемой включения  $Y/Z_n$  мощностью  $250\text{ кВт} \cdot \text{А}$ . Модуль сопротивления такого трансформатора равен  $Z_m = 0,09\text{ Ом}$ .

Сопротивление петли «фаза-нуль» рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_{нз})^2 + (x_\phi + x_{нз} + x_n) \cdot \ell} \text{ [Ом]}. \quad (11.6)$$

где  $R_\phi$  и  $R_{нз}$  – активные сопротивления фазного и нулевого защитных проводников, Ом;

$x_\phi$  и  $x_{нз}$  – внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого защитных проводников, Ом/км;

$x_n$  – внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза-нуль», Ом/км.

$\ell$  – длина сети, км ( $\ell = 0,1\text{ км}$ ).

В приближенных расчетах  $x_n$  принимают равным  $0,3\text{ Ом/км}$  для внутренней проводки и  $0,6\text{ Ом/км}$  для воздушных линий.

Внутреннее индуктивное сопротивление для фазовых и нулевых защитных проводников  $x_\phi$  и  $x_{нз}$  сравнительно мало (около 0,0156 Ом/км), поэтому им можно пренебречь.

Активные сопротивления фазного и нулевого защитных проводников  $R_\phi$  и  $R_{нз}$  для проводников из стали круглого сечения, диаметром 8 мм на 100 метров равны 0,96 Ом.

Используя перечисленные выше справочные данные рассчитаем сопротивление петли «фаза-нуль» по формуле (11.6):

$$Z_n = \sqrt{(0,96 + 0,96)^2 + 0,3 \cdot 100} = 2,58 \text{ Ом}$$

Рассчитаем ток однофазного короткого замыкания по формуле (11.4), используя рассчитанное ранее значение по формуле (11.5):

$$I_{кз} = \frac{380}{\frac{0,09}{3} + 2,58} = 145,6 \text{ А}$$

Проверим равенство (11.3), используя данные, рассчитанные ранее:

$$\begin{aligned} 145,6 \text{ А} &\geq 3 \cdot 41,25 \text{ А} \\ 145,6 \text{ А} &> 123,75 \text{ А} \end{aligned}$$

Так как условие (11.3) выполняется, можно сделать вывод, что зануление как способ защиты от поражения электрическим током обеспечивает требования безопасности при эксплуатации установки [74].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломного проекта спроектирована конструкция дистанционно управляемого СВЧ магнетрона средней мощности, электрические параметры которого:  $U_{\Pi} - 220 \text{ В}$ ,  $I_{\Pi \text{ max}} - 10 \text{ А}$ ,  $I_a - 0,3 \text{ А}$ ,  $P_{\text{max}} - 1 \text{ кВт}$ ,  $U_{\text{ан}} - 3,8 \text{ кВ}$ ,  $U_{\text{н}} - 3,3 \text{ В}$ .

Проведены анализ литературно – патентных исследований, конструктивных и схемотехнических особенностей импульсных источников питания СВЧ магнетрона; проведено общетехническое обоснование разработки устройства, которое включает в себя анализ исходных данных и формирование основных технических требований; разработаны электрическая принципиальная и структурная схемы устройства.

Разработана конструкция дистанционно управляемого СВЧ магнетрона средней мощности. Осуществлен выбор и обоснование элементной базы; выбор типа электрического монтажа, элементов крепления и фиксации; выбор способов обеспечения нормального теплового режима устройства; выбор и обоснование метода изготовления печатной платы; проведен расчет конструктивно – технологических параметров проектируемого изделия, включающий расчет теплового режима, расчет на механические воздействия, расчет конструктивно-технологических параметров печатных плат, расчет электромагнитной совместимости.

Максимальная температура нагрева элементов устройства выходит за пределы диапазона рабочих температур элементов, устройство подвержено воздействию высоких температур. Решением является применения принудительного воздушного охлаждения, которое обеспечивает исправную работу устройства

Устройство обладает высокой вероятностью безотказной работы за 1000 часов, и хорошей гамма–процентной наработкой до отказа при  $\gamma=95\%$ .

Для проектирования устройства применены САПР: *Altium Designer*, *SolidWorks*, *AutoCAD*.

Спроектированная модель является адекватной и пригодной для использования при условии эксплуатации устройства в пределах допустимых значений воздействующих факторов.

Разработана технологическая схема сборки проектируемого устройства.

Разработано программное обеспечение для дистанционного управления источником питания.

Проведено технико-экономическое обоснование разработки и производства дистанционно управляемого СВЧ магнетрона средней мощности. Инвестиции в производство нового изделия будут экономически эффективными, т. к. средняя норма рентабельности инвестиций  $R_{\text{и}}=19,54\%$  превысила ставку рефинансирования, равную 15%, и, следовательно, разработка нового изделия является целесообразной.

Разработана графическая часть к дипломному проекту (6 чертежей А1 и соответствующая к ним документация).

Конструкторская документация оформлена с применением пакета прикладного программного обеспечения *AutoCAD*.

Результаты выполнения дипломного проекта могут быть использованы при разработке источника питания.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Алексеев, В.Ф., Электронный ресурс по учебной дисциплине «Проектирование электронных модулей, устройств и систем». Комплекс для студентов специальности 1–39 02 01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» / В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун // ЭРУД БГУИР [Электронный ресурс] / БГУИР. – Минск, 2016.

[2] Патентные исследования: виды, порядок и стоимость проведения [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://patentural.ru/zhurnal/patentnii-issledovania/>

[3] Источник питания для магнетрона [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.freepatent.ru/patents/2575166>

[4] Источник питания магнетрона [Электронный ресурс]– Режим доступа:

[https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=2&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=20211116&CC=CN&NR=214736058U&KC=U](https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=2&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20211116&CC=CN&NR=214736058U&KC=U)

[5] Блок питания магнетронов непрерывного генерирования [Электронный ресурс]– Режим доступа: <http://allpatents.ru/patent/2450414.html>

[6] Блок питания магнетронов непрерывного генерирования [Электронный ресурс]– Режим доступа: [<http://apelvac.com/catalog/groups/27/>]

[7] Магнетрон [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: [https://www.elremont.ru/svch/bt\\_rem23.php](https://www.elremont.ru/svch/bt_rem23.php)

[8] Магнетрон [Электронный ресурс]– Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/1247-kak-ustroen-i-rabotaet-magnetron.html>

[12] ГОСТ 18953-73. Источники питания электрические. Общие технические требования. – Введ. 1974-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 9 с.

[13] ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Введ. 1971-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 58 с.

[14] ГОСТ 11487-88 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Нормы и методы испытаний на воздействие внешних механических и климатических факторов». – Введ. – 1989-07-01– М.: Изд-во стандартов, 1988. – 40 с.

[15] ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» – Введ. – 1978-01-01– М.: Стандартиформ, 2008. – 55 с

[16] ГОСТ 29254-91 «Совместимость технических средств электромагнитная. Аппаратура измерения, контроля и управления технологическими процессами. Технические требования и методы испытаний на помехоустойчивость» Введ. – 1993-01-01– М.: Изд-во стандартов, 1992. – 57 с

[17] ГОСТ 21317-87 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы испытаний на надежность». Введ.– 1989–01–01– М.: Изд-во стандартов, 1990. – 74 с

[18] ГОСТ 28002–88. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Общие требования по защите от электростатических разрядов и методы испытаний. – Введ. 1991–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1989.– 42 с.

[19] ГОСТ Р 51317.6.1-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Требования и методы испытаний». – Введ. 2002–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2000 - 48 с.

[20] ГОСТ 27.003–90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. – Введ. 1990–29–12. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 19 с.

[21] ГОСТ 12.2.007.0 – 75. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – Введ. 1978–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 11 с.

[22] ГОСТ 22782.0 – 81. Электрооборудование взрывозащищенное. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 1982–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 1982.

[23] ГОСТ Р 51515-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоустойчивость радиовещательных приемников, телевизоров и другой бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Требования и методы испытаний. [Электронный ресурс]. – 2022 – Режим доступа: <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/143F.html>

[24] ГОСТ 27570.0–87. Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Общие требования и методы испытаний. – Введ. 1988–01–07. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 88 с.

[25] ГОСТ 12.2.049–80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – Введ. 1982–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 88 с.

[26] ГОСТ 15.009–91. Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Непродовольственные товары народного потребления. Введ. 1991–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 6 с.

[27] ШИМ генератор сигналов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://freedelivery.company/p/1207518159-generator-shim-signala-signalov-zhklgc-150kgc-3-3-30v-xy-lpwm/>

[28] Схема электрическая принципиальная [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://monitor.espec.ws/files/inv\\_sch\\_680.png](http://monitor.espec.ws/files/inv_sch_680.png)

[29] Выходная характеристика диодного моста [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://electroandi.ru/elektronika/vypriamiteli/diodnyj-most-printsip-raboty-i-skhema.html>

[30] Конструирование и технология электронных систем: пособие к курсовому проектированию для студентов специальности «Электронно–оптические системы и технологии» / А. А. Костюкевич [и др.]. – М. БГУИР, 2011. – 119 с.

[31] *Chipdip* // Конденсатор керамический (SMD) 0805 [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/grm2165c1h1r1c>

[32] *Chipdip* // Конденсатор электролитический [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/0/9000188149>

[33] *Chipdip* // Диодный мост [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/kbpc5010-yangjie>

[34] *Chipdip* // Регулятор напряжения [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/ld1117as33tr>

[35] *Chipdip* // Импульсный регулятор напряжения [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/tny264pn>

[36] *Chipdip* // Микросхема управления питанием [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/tca785>

[37] Трансформатор импульсный [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.tme.eu/by/ru/details/ti-ee16-1534/transformatory-pcb/feryster/>

[38] *Chipdip* // Чип резистор (SMD) [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/0.125w-0805-1-om-5>

[39] *Chipdip* // Резистор подстроечный [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/3006p-1-501>

[40] *Chipdip* // Трансформатор импульсный [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/alt3232m-151-t001-2>

[41] *Chipdip* // Трансформатор [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [https://www.transled.ru/catalog/transformers/open/TPA\\_20/](https://www.transled.ru/catalog/transformers/open/TPA_20/)

[42] *Chipdip* // Транзистор, N-канал [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/2n7002-fairchild>

[43] *Chipdip* // Биполярный транзистор [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/kt819a-2>

[44] *Chipdip* // Транзистор IGBT [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/gt60n321>

[45] *Chipdip* // Транзистор NPN [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/2sc2785>

[46] *Chipdip* // Диод Шоттки [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/1n5819-2>

[47] *Chipdip* // Диод импульсный [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/fr207>

[48] *Chipdip* // Диод Шоттки [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/product/sb3100>

[49] Электротехнические материалы. Диэлектрики [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/4637/EHlektrotekhnicheskie\\_materialy\\_Dielektriki.pdf;jsessionid=B6E70A46454B344ABCBBD62CF0A61B917?sequence=1](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/4637/EHlektrotekhnicheskie_materialy_Dielektriki.pdf;jsessionid=B6E70A46454B344ABCBBD62CF0A61B917?sequence=1)

[50] ГОСТ 26246.5-89. Материал электроизоляционный фольгированный нормированной горючести для печатных плат на основе стеклоткани, пропитанной эпоксидным связующим. Технические условия – Введ. 1991–01–01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002

[51] Радиоэлектронная аппаратура и основы ее конструкторского проектирования: учебно–методическое пособие для студентов спец. «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» и «Проектирование и производство РЭС» / Н. И. Каленкович [и др.]. – М.: БГУИР, 2008. – 200 с.

[52] ГОСТ Р 55693-2013. Платы печатные жесткие. Технические требования – Введ. 2014-06-01. – М.: Стандартинформ, 2014

[53] Пирогова, Е.В. Проектирование и технология печатных плат: учебник / Е.В. Пирогова. – М.: Изд - во ФОРУМ, 2005. – 560 с.

[54] Монтаж электронных модулей. Варианты реализации [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: [http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01\\_05/stat\\_80.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01_05/stat_80.htm).

[55] Роткоп, Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры/ Л. Роткоп. – М. : Сов. радио, 1976.–232с.

[56] ГОСТ 23751–86. Платы печатные. Основные параметры конструкции. Введ. 1989–01–04. – М.: Изд-во стандартов, 1986. –7 с.

[57] ГОСТ 10317–79. Платы печатные. Основные размеры. Введ. 1980–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. –3 с.

[58] Комбинированные методы изготовления печатных плат [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <https://pcbdesigner.ru/sposobi-izgotovleniya-pechatnih-plat/kombinirovannye-metody-izgotovleniya-pechatnyh-plat.html>

[60] Алексеев, В.Ф. Электронный ресурс по учебной дисциплине «Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов».

Комплекс для студентов специальности 1–39 02 01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» / В.Ф. Алексеев, Н.А. Голубов, А.П. Горбач // ЭРУД БГУИР [Электронный ресурс] / БГУИР. – Минск, 2016.

[61] Информационные технологии в моделировании и проектировании технических объектов [Электронный ресурс] – 2021. – Режим доступа: <https://www.tstu.ru/book/elib3/mm/2017/maistrenko/t4.html>.

[62] Система автоматизированного проектирования *SolidWorks* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://seniga.ru/sapr/ssapr/62-solidworks.html>

[63] Преимущества *SOLIDWORKS Simulation* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-simulation>

[64] *SolidWorks* // [Электронный ресурс] – 2021. – Режим доступа: <https://SolidWorks.product/solidworks>.

[65] Программный пакет *ANSYS* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: [https://studbooks.net/2194693/tehnika/opisanie\\_podsistemy\\_ansys\\_workbench](https://studbooks.net/2194693/tehnika/opisanie_podsistemy_ansys_workbench)

[66] *Altium* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.altium.com/altium-designer/ru>.

[67] Описание подсистемы *ANSYS Workbench* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/solutions/finite-element-analysis>.

[68] *Autodesk* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru>.

[69] *Elcut* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Elcut>.

[70] *ESP01S* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1179098/ETC2/ESP-01.html>

[71] Горюшкин, А.А. Техничко-экономическое обоснование дипломных проектов (работ): метод. Указания для студ. техн. спец. / А.А. Горюшкин, А.В. Грицай, В.Г. Горовай. – Минск, 2020. – 86 с.

[72] Инспекционный конвейер ЕТА SC-50 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.etasmt.com.sg/viewproduct.aspx?pid=30>.

[73] Загрузчик печатных плат КАУО-50Р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kayosmt.ru/catalog/oborudovanie-dlya-transportirovki-plat-v-linii/kayo-50p>.

[74] Разгрузчик печатных плат КАТО-50S [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kayosmt.ru/catalog/oborudovanie-dlya-transportirovki-plat-v-linii/kayo-50p>.