

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
Кафедра инженерной психологии и эргономики

УДК

Севрук  
Роман Анатольевич

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра техники и технологии

по специальности 1-59 81 01 Управление безопасностью производственных процессов

Магистрант Р.А. Севрук

Научный руководитель  
И.С. Терех, кандидат  
технических наук

Заведующий кафедрой ИПиЭ  
К.Д. Яшин, кандидат  
технических наук, доцент

Нормоконтролёр  
Е.С. Иванова,  
ассистент кафедры ИПиЭ

Минск 2016

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью работы является повысить безопасность технологической установки путём проектирования и разработки СВЧ генератора и источника питания магнетрона. Также необходимо обеспечить безопасные условия для работы персонала с плазменной технологической установкой.

В первой главе рассматриваются общая теория о профессиональном травматизме и заболеваниях на производстве в последние годы. В основе этих факторов рассмотрены негативное влияние СВЧ излучения и электрического тока на организм человека.

Во второй главе выбирается схема электрическая принципиальная источника питания СВЧ магнетрона, рассматриваются несколько вариантов и наиболее подходящая будет применена в источнике питания. Проектируется конструкция блока электропитания на основании требований эргономичности и безопасности.

В третьей главе произведены расчёты надёжности блока электропитания, теплового режима блока электропитания и расчёт высоковольтного трансформатора. Эти расчёты необходимы, чтобы безопасно проводить опыты на установке, чтобы соответствовать требованиям установленным к данному оборудованию.

В четвёртой главе обеспечены безопасные условия труда при работе с плазменной технологической установкой. Будет обеспечена защита от СВЧ излучений и защита от электричества, как инженерно техническими методами, так и организационными.

В пятой главе рассмотрены проводимые исследования на плазменной технологической установке с разработанными источником питания магнетрона и СВЧ генератором. Будет сформирован вывод об общей эффективности и работоспособности установки.

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, где наука и техника развиваются очень быстро и, как следствие, усложняется деятельность, связанная с эксплуатацией и обслуживанием техники, невозможно обойтись без охраны труда, эргономики и ряда других наук. С их помощью использование техники становится более безопасным и более эффективным.

Основной целью этой магистерской диссертации является повышение безопасности и эффективности при работе с установками технологического назначения (в нашем случае, установка магнетронного распыления), применяемых в учебных лабораториях и на производстве. Выявление в существующих системах (комплексах) защиты слабых частей и устранение их либо уменьшение вредного воздействия на человека.

Объектом этого исследования является электровакуумная установка ВЧ магнетронного распыления в общем и её составные части (СВЧ генератор и источник питания магнетрона) в частности. Эти составные части несут наибольшую опасность для здоровья человека.

В качестве предмета исследования – воздействие на человека вредных факторов при работе с установками данного типа. Воздействие СВЧ излучения на здоровье и на трудоспособность человека, возможность поражения и последствия от электрического тока.

Нашей задачей является обезопасить персонал от поражающего воздействия электричества и СВЧ излучения при эксплуатации и ремонте установок данного типа. Это должно быть достигнуто несколькими методами: инженерно-технические методы и средства, индивидуальные средства защиты и организационные меры защиты.

Проведя анализ литературы было установлено, что есть необходимость в усовершенствовании системы защиты при работе с установками. Так как новых методов уже давно не было, а техника и технологии развиваются очень стремительно, то было принято решение усовершенствовать старые модели и системы и получить максимально эффективную защиту для работы персонала с установками без негативного влияния на здоровье.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Научно-технический прогресс, который постоянно наблюдается в промышленном производстве, в энергетике и других отраслях, сопровождается непрерывным повышением роли человека как субъекта труда в достижении высокой эффективности и качества деятельности. Именно человек эти машины создает, этой техникой управляет и ее эксплуатирует. Для развития современного производства на научной основе и обеспечения необходимой эффективности эксплуатации машин возникла потребность согласования потенциалов техники и возможностей человека, участвующего в производственном процессе.

Одним из условий устойчивого социально-экономического развития общества является трудовая активность всех его членов и обеспечение безопасности их жизнедеятельности. Ни один вид деятельности не является абсолютно безопасным. Современный человек живет в мире природных, техногенных, социальных и других видов опасностей. Поэтому среди глобальных проблем цивилизации важнейшее значение приобрела защита работающих от связанных с производством недугов, болезней и травм.

Источник питания разрабатывается для технологической установки, которая предназначена для напыления тонких плёнок на кремниевую пластину в вакууме:

Развитие вторичных источников питания, обеспечивающих работу промышленных электроприборов, также подчиняется общей тенденции развития. Во-первых, это развитие базы маломощных вторичных источников питания, во-вторых, развитие вторичных источников питания, обслуживающих энергоёмкие производственные процессы и оборудование.

Источники вторичного электропитания РЭА должны обеспечивать ряд параметров: требуемые значения питающих напряжений, как постоянного, так и переменного – однофазного или многофазного токов, электрическая изоляция цепей питания друг от друга и от первичного источника. Также к ним следует отнести высокую стабильность вторичных питающих напряжений в условиях значительного изменения первичного питающего напряжения и нагрузок, эффективное подавление пульсаций во вторичных питающих цепях и т.п..

В связи с этим возникает потребность в расширении функциональных возможностей РЭА и серьезном улучшении таких технико-экономических показателей как надежность, габариты, масса. Эти задачи могут быть решены только на основе рассмотрения целого комплекса вопросов системо- и

схемотехники, конструирования и технологии, производства и эксплуатации. Именно на стадиях конструирования и производства РЭА реализуются системо- и схемотехнические идеи, создаются изделия, отвечающие современным требованиям.

Требования, предъявляемые к РЭА, постоянно ужесточаются, а усложнение аппаратуры приводит к необходимости внедрения последних достижений науки и техники в разработку, конструирование и технологию РЭА.

Проектирование конструкции блока любой РЭА является одним из важнейших этапов, как создания изделия, так его безопасности и эффективности использования. Разрабатываемая конструкция должна быть максимально простой и эргономичной, иметь минимальные габариты и массу. При этом она должна выполнять все предъявляемые к ней функциональные требования, быть надежной, и ремонтпригодной. Кроме того, конструкция должна быть удобна в эксплуатации: по возможности необходимо предусмотреть минимальное количество органов управления, расположить так, чтобы было удобно с ними работать, органы индикации расположить в удобном для наблюдения месте. Необходимо обеспечить легкий доступ к деталям конструкции при ее техническом обслуживании и ремонте.

К разработке конструкции блока электропитания были поставлены требования, которые предъявляют к источникам питания СВЧ приборов простота и дешевизна источника питания удобство в эксплуатации; надежность конструкции, большой срок службы (не менее 4000 ч); возможность работы при переменной нагрузке.

В состав блока входят: два реле, предохранители, органы управления и индикации, источник питания сигнальных ламп (трансформатор), анодный источник питания (высоковольтный трансформатор).

Основу блока составляет каркас, изготовленный из уголка с полкой 20 мм. К каркасу с помощью винтов крепятся панели: передняя, задняя, верхняя, нижняя, две боковые. Панели изготовлены из листовой стали толщиной 0,5 мм. В верхней панели для обеспечения теплового режима блока предусмотрены перфорационные отверстия площадью 135 см<sup>2</sup>.

Конструктивно в вертикальной плоскости блок электропитания разбит на две части. В нижней части расположен высоковольтный трансформатор. В верхней части блока располагается система автоматики. В этой части крепятся реле, трансформатор питания сигнальных ламп.

Для обеспечения условий электробезопасности все электрорадиоэлементы закреплены на диэлектрическом основании: высоковольтный трансформатор – на прокладке из текстолита толщиной 1 см;

реле, трансформатор питания сигнальных ламп – на плате из текстолита толщиной 0,5 см.

Ввиду небольшого количества электрорадиоэлементов в электрической схеме и отсутствия элементов малых размеров электрические соединения элементов между собой осуществляются с помощью монтажных проводов, собранных в жгут.

Так как блок электропитания и блок излучателя конструктивно разнесены между собой и могут находиться в различных местах помещения, то для удобства работы с генератором предусмотрено наличие дистанционного управления.

Учитывая эргономические требования технического задания, все органы управления индикации имеют разную форму и интуитивно понятны персоналу. Все они размещены на передней панели, а именно: автомат включения сети; кнопочные выключатели («Накал», «Накал выключен», «Высокое», «Высокое выключено»); сигнальные лампы («Сеть», «Накал включен», «Высокое включено»).

Конструкция блока электропитания представлена на рисунке 1:



**Рисунок 1– Блок питания магнетрона**

Ручка регулятора напряжения расположена в верхней части блока питания. На задней панели блока расположена панель предохранителей; разъем для подключения блока к сети переменного тока; разъем для подачи напряжения на накальный трансформатор и вентилятор системы охлаждения магнетрона; высоковольтный разъем для подключения магнетрона к анодному

источнику питания; разъем для подключения пульта дистанционного управления и переключатель на дистанционный режим управления.

Для удобства транспортировки блока на верхней панели закреплены две рукояти. Габаритные размеры блока составляют  $525 \times 190 \times 380$  мм<sup>3</sup>, масса – 18,2 кг.

Для обеспечения условий электробезопасности все электрорадиоэлементы закреплены на диэлектрическом основании: высоковольтный трансформатор – на прокладке из текстолита толщиной 1 см; реле, трансформатор питания сигнальных ламп – на плате из текстолита толщиной 0,5 см.

Надежность изделия в основном закладывается в процессе его конструирования и обеспечивается в процессе его изготовления путем правильного выбора технологии производства, контроля качества исходных материалов, полуфабрикатов и готовой продукции, контроля режимов и условий изготовления. Надежность обеспечивается применением правильных способов хранения изделия и поддерживается правильной его эксплуатацией, планомерным уходом, профилактическим контролем и ремонтом. Принимая во внимание вышесказанное, следует определить необходимость специальных мер для повышения или стабилизации показателей надежности.

Параметры надежности, полученные в результате расчета (таблица 1)

Таблица 1 – Результаты расчета надежности блока электропитания

Параметры надежности	Значения
Средняя наработка на отказ, ч	10 400
Вероятность безотказной работы	0,953
Среднее время восстановления, ч	0,580
Вероятность восстановления	0,980
Коэффициент готовности	0,999
Коэффициент ремонтпригодности	0,001
Вероятность безотказной работы с учетом восстановления	0,986
Доверительные границы для наработки на отказ	8615,5...12265,3

Поскольку одной из активных составных частей установки будет магнетрон, а работа сотрудников будет и вблизи источника СВЧ энергии, то необходимыми требованиями являются разработка безопасных условий труда и создание мер защиты от электромагнитных полей.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного облучения осуществляется рядом способов, основными из которых являются: уменьшение излучения непосредственно от самого источника, экранирование рабочего места, экранирование источника излучения (отражающие и поглощающие

экраны), а также применение индивидуальных средств защиты и организационные меры.

Сплошные металлические экраны наиболее эффективны и уже при толщине 0,01 мм обеспечивают ослабление электромагнитного поля примерно в 100 000 раз.

В нашем случае экран будет изготовлен из листа толщиной 2 мм. Большая отражательная способность металлов, обусловленная значительным несоответствием электромагнитных свойств воздуха и металла, в ряде случаев может оказаться нежелательной, так как может увеличивать интенсивность поля в рабочей зоне и влиять на режим работы генератора. Поэтому внутреннюю поверхность экрана нужно покрыть специальной радиопоглощающей краской.

Для обеспечения поглощения проникающей СВЧ энергии через щели между разрядной камерой и волноводной секцией используем мягкую поглощающую медную прокладку толщиной 1,2 мм. Поглощающий материал также закладываем в щели между теми металлическими деталями резонаторных камер, которые не могут быть соединены сваркой или пайкой.

В работе была проанализирована возможность облучения персонала при работе с магнетроном и проведена гигиеническая оценка излучения, которая показала необходимость применения методов и средств защиты от электромагнитного излучения. В качестве защитного метода выбрали экранирование источника излучения (магнетрона) металлическим экраном (лист алюминия толщиной 2 мм). При выполнении установленных требований и соблюдении правил по эксплуатации установки излучение не будет воздействовать на персонал.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлось повысить безопасность технологической установки путём проектирования и разработки СВЧ генератора и источника питания магнетрона. Также необходимо было обеспечить безопасные условия для работы персонала.

Проведенный анализ литературы позволил установить, необходимость усовершенствования системы защиты при работе с установками.

Разработана конструкция блока электропитания СВЧ магнетрона, которая позволяет безопасно вести работу с технологической установкой. Она соответствует требованиям надёжности, безопасности и эргономичности.

Проведен расчёт надёжности, результаты которого показали, что полученные данные полностью удовлетворяют требованиям технического задания по надёжности. Рассчитанная средняя наработка на отказ  $T_o = 10400$  ч, что превышает требуемое значение (4000 ч). Вероятность безотказной работы (0,953) и вероятность восстановления (0,980) тоже свидетельствуют о надёжности блока электропитания. Время восстановления также вполне удовлетворительное (0,58 ч) для такого класса устройств. С уверенностью можно сделать вывод, что разрабатываемое устройство надёжно и не нуждается в дополнительных мерах по повышению надёжности и безопасности.

Определены условия эксплуатации и установлено, что при них обеспечен безопасный тепловой режим работы блока электропитания СВЧ магнетрона. Определено, что перегрев воздуха и элементов в блоке получается в границах предельно допустимых величин, что подтверждает, что тип корпуса (перфорированный) и способ охлаждения (естественное) были подобраны верно.

В ходе работы также проанализирована возможность облучения персонала при работе с магнетроном и проведена гигиеническая оценка СВЧ излучения, которая показала необходимость применения методов и средств защиты от электромагнитного излучения. В качестве защитного метода выбрано экранирование источника излучения (магнетрона) металлическим экраном. При выполнении установленных требований и соблюдении правил по эксплуатации установки СВЧ излучение не воздействует на персонал.

Рассмотрена возможность поражения персонала электрическим током. Установлено, что для безопасной работы с установкой необходимо применить устройство защитного отключения, заземление установки, а также необходимо пользоваться индивидуальными средствами защиты. Применили мероприятия

для обеспечения электробезопасности при работе с плазменной технологической установкой

В результате исследований режимов работы СВЧ генератора установлено, что разрядное устройство с источником питания, собранным по схеме однополупериодного выпрямителя, нормально работает на плазменную нагрузку и обеспечивает изменение величины генерируемой мощности в пределах 100-700 Вт. Кроме того, экспериментально была определена величина внутреннего сопротивления источника питания, обеспечивающего устойчивый режим генерации магнетрона ( $R_{min} = 1200 \text{ Ом}$ ).

Можно сделать вывод, что поставленная цель в повышении безопасности технологической установки путём проектирования и разработки источника питания магнетрона выполнена.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А] Севрук, Р.А., Терех, И.С. «Повышение безопасности энергетического блока СВЧ генератора путём совершенствования методики обучения специалистов»/ Международная научно-техническая конференция «Современные средства связи Мн.: БГАС, 14-15 октября 2015г.

[2-А] Севрук, Р.А., Терех, И.С. «Повышение безопасности технологической установки»/ 52 научно техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР Мн.: БГУИР, апрель-май 2016г.

Библиотека БГУИР