

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет информатики и  
радиоэлектроники

УДК 004.312.46:004.056

Кирикович  
Иван Александрович

Методика определения параметров, управления и диагностики состояния  
векторных анализаторов цепей для исследования технических средств  
защиты информации

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-98 80 01 Методы и системы защиты информации,  
информационная безопасность

---

Научный руководитель  
Белошицкий А. П.  
кандидат технических наук,  
доцент

---

Минск 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие новых информационных технологий и всеобщая компьютеризация привели к тому, что информационная безопасность не только становится обязательной, она еще и одна из характеристик информационных систем. Существует довольно обширный класс систем обработки информации, при разработке которых фактор безопасности играет первостепенную роль (например, банковские информационные системы).

Под безопасностью информационных систем понимается защищенность системы от случайного или преднамеренного вмешательства в нормальный процесс ее функционирования, от попыток хищения (несанкционированного получения) информации, модификации или физического разрушения ее компонентов. Иначе говоря, это способность противодействовать различным возмущающим воздействиям на информационную систему.

Под угрозой безопасности информации понимаются события или действия, которые могут привести к искажению, несанкционированному использованию или даже к разрушению информационных ресурсов управляемой системы, а также программных и аппаратных средств.

Если исходить из классического рассмотрения кибернетической модели любой управляемой системы, возмущающие воздействия на нее могут носить случайный характер. Поэтому среди угроз безопасности информации следует выделять как один из видов угрозы случайные, или непреднамеренные. Их источником могут быть выход из строя аппаратных средств, неправильные действия работников информационной системы или ее пользователей, непреднамеренные ошибки в программном обеспечении и т.д. Такие угрозы тоже следует держать во внимании, так как ущерб от них может быть значительным.

Под источником информации подразумевается материальный объект, обладающий определенными сведениями, представляющими конкретный интерес для злоумышленников или конкурентов.

Защита от умышленных угроз – это своего рода соревнование обороны и нападения: кто больше знает, предусматривает действенные меры, тот и выигрывает.

Многочисленные публикации последних лет показывают, что злоупотребления информацией, циркулирующей в информационных системах или передаваемой по каналам связи, совершенствовались не менее интенсивно, чем меры защиты от них. В настоящее время для обеспечения защиты информации требуется не просто разработка частных механизмов защиты, а реализация системного подхода, включающего комплекс взаимосвязанных мер (использование специальных технических и программных средств, организационных мероприятий, нормативно-правовых актов, морально-этических мер противодействия и т.д.). Комплексный характер защиты проистекает из комплексных действий злоумышленников, стремящихся любыми средствами добыть важную для них информацию.

Организация мер защиты информации должна проводиться в полном соответствии с действующими законами и нормативными документами по безопасности информации, интересами пользователей информации. Чтобы гарантировать высокую степень защиты информации, необходимо постоянно решать сложные научно-технические задачи разработки и совершенствования средств ее защиты.

Известно, что один из наиболее опасных технических каналов утечки информации на объектах информатизации является канал утечки информации, обусловленный электромагнитными помехами.

Эффективным методом снижения уровня ПЭМИ является экранирование их источников специальными экранирующими материалами.

Для определения параметров и оценки эффективности использования экранов в электромагнитного излучения и их отражающих и поглощающих свойств в СВЧ диапазоне используют технические средства для анализа  $S$ -параметров. К одним из таких технических средств относится векторный анализатор цепей.

Целью данной магистерской диссертации является, разработка методики определения параметров векторных анализаторов цепей (ВАЦ) СВЧ диапазона и цифрового модуля автоматической регулировки мощности ВАЦ.

Для достижения поставленной цели необходимо и решить следующие задачи:

- провести анализ современных методов и технических средств защиты от ЭМИ;
- выбрать конкретный тип анализатора и описать его устройство и принцип действия;
- разработать методику определения параметров векторного анализатора цепей;
- провести экспериментальные исследования ВАЦ с использованием разработанной методики калибровки;
- разработать цифровой модуль автоматической регулировки мощности и его программное обеспечение.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В связи с увеличением производства и использования различных радиоэлектронных средств значительно возрастает уровень электромагнитного излучения (ЭМИ) от них.

Одной из важнейших проблем современности является защита от ЭМИ путем экранирования электромагнитных полей. Для определения параметров и характеристик экранов и экранирующих материалов, необходимо использовать современное измерительное оборудование, обладающее высокими метрологическими характеристиками и степенью автоматизации.

Следовательно, задачи разработки методик определения параметров средств измерений СВЧ диапазона, а так же устройств их автоматизации и диагностики являются весьма важными и актуальными.

Тема диссертационной работы соответствует подразделу 13 «Безопасность человека, общества, государства» приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016 – 2020 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 12 марта 2015г., № 190. Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Целью данной магистерской диссертации является, разработка методики определения параметров векторного анализатора цепей и цифрового модуля автоматической регулировки мощности.

Для достижения этой цели поставлены и решены следующие задачи:

- проведен анализ современных методов и технических средств защиты от ЭМИ;
- выбран конкретный тип ВАЦ и описаны его устройство и принцип действия;
- разработана методика определения параметров ВАЦ;
- проведены экспериментальные исследования ВАЦ с использованием разработанной методики;
- разработаны цифровой модуль автоматической регулировки мощности и его программное обеспечение.

Научная новизна работы определяется следующими результатами:

- разработана и обоснована методика калибровки векторного анализатора цепей СВЧ диапазона;
- предложены и обоснованы алгоритмы обработки результатов экспериментальных исследований ВАЦ при их калибровке и оценке неопределенности измерений;
- предложена структура и алгоритмы программного обеспечения цифрового модуля автоматической регулировки мощности.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанная методика калибровки является основой для написания методик калибровки ВАЦ СВЧ диапазона конкретных типов и исследования их метрологических характеристик. Спроектированный цифровой модуль автоматической

регулировки мощности может использоваться при изготовлении ВАЦ для различных участков диапазона СВЧ.

Результаты работы апробированы на 10-ой Международной НТКМУС «Новые направления развития приборостроения» – БНТУ (Минск, 26–28 апреля 2017 г.), 53-ей Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Телекоммуникационные системы и сети» – БГУИР (Минск, 25-30 апреля 2017 г.) и опубликованы в материалах этих конференций.

Все основные результаты работы получены самостоятельно и внедрены в Центре 1.9 НИЧ БГУИР.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** рассматриваются методы и средства обеспечения безопасности информации. Приводится изложение основных понятий систем информационной безопасности. Рассматриваются основные способы защиты информации:

- препятствие;
- маскировка;
- регламентация;
- управление;
- принуждение;
- побуждение.

Также рассмотрены технические средства защиты информации СВЧ диапазона и их контролируемые параметры. Рассмотрены методы снижения уровня побочных электромагнитных излучений такие как экранирование. Основным параметром для оценки эффективности экрана является модуль коэффициента прямой передачи  $|S_{21}|$  который можно оценить с помощью векторного анализатора цепей.

Рассмотрены современные средства измерений параметров технических средств защиты информации СВЧ диапазона, показано, что с помощью ВАЦ можно определять параметры экранов и экранирующих материалов в диапазоне СВЧ с высокой точностью.

Во **второй главе** описываются устройство и принцип действия векторного анализатора цепей Р4-МВМ-118. Рассматриваются принцип действия, схема, технические характеристики и порядок работы с векторным анализатором цепей Р4-МВМ-118 разработанным в Центре 1.9 НИЧ БГУИР.

Принцип действия анализатора основан на раздельном выделении падающей на объект измерения, отраженной и прошедшей волн СВЧ сигнала. Напряжения, пропорциональные амплитудам падающей, отраженной и прошедшей волн, с помощью смесителей и гетеродина преобразуются в низкочастотные сигналы, несущие информацию об измеряемых S-параметрах. Изменяемые параметры: модуль ( $|S_{11(22)}|$ ) и фаза ( $\arg S_{11(22)}$ ) коэффициентов отражения, модуль ( $|S_{21(12)}|$ ) и фаза ( $\arg S_{21(12)}$ ) коэффициентов передачи. Данные параметры вычисляются по специальным алгоритмам с использованием результатов калибровки. Результаты измерений отображается в виде частотных зависимостей в декартовой системе координат с отсчетом с помощью маркера значений измеряемых параметров в любой частотной точке диапазона рабочих частот анализатора.

Структурная схема скалярного анализатора цепей Р4-МВМ-118 представлена на рисунке 1.

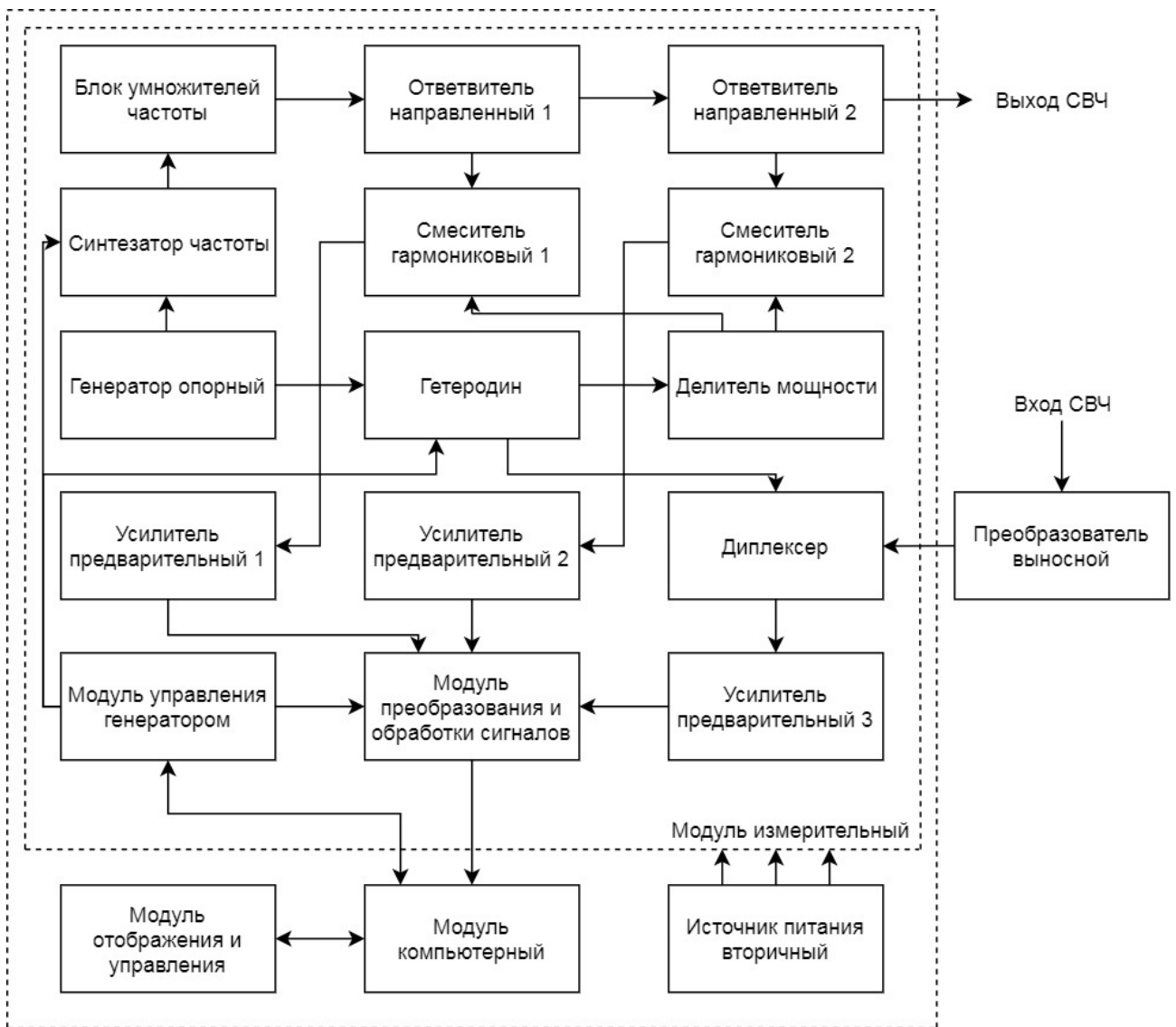


Рисунок 1 – Структурная схема скалярного анализатора цепей P4-MBM-118

ВАЦ состоит из блока измерительного (БИ) и преобразователя выносного. БИ состоит из модуля измерительного, модуля компьютерного, модуля отображения и управления. БИ имеет интерфейсы *RS232*, *USB*, *Ethernet*.

Преобразователь детекторный состоит из смесителя гармоникового и служит для снятия информации о прошедшей через ОИ волне. Сигнал с выхода преобразователя подается в блок измерительный, который осуществляет его усиление, аналого-цифровое преобразование и дальнейшую математическую обработку.

Источником СВЧ колебаний является синтезатор частоты, который генерирует сигнал в диапазоне частот от 9,5 до 15,0 ГГц. В блоке умножителей частоты происходит усиление и преобразование частоты сигнала до значений от 76,0 до 120,0 ГГц. С выхода блока умножителей сигнал поступает в СВЧ тракт, включающий в себя направленные ответвители падающей (ответвитель направленный 1) и отраженной (ответвитель направленный 2) волн, с боковых плеч которых снимаются сигналы, несущие информацию о параметрах ОИ.

Смесители выполняют перенос сигналов в область низких частот пригодных для последующей обработки. Потери преобразований компенсируются усилителями предварительными. Далее производится аналого-цифровое преобразование сигналов и производится первичная математическая обработка сигналов в модуле преобразования и обработки сигналов. В модуле компьютерном по специализированным алгоритмам происходит вычисление и построение графиков модулей и фаз коэффициентов. Управление работой измерителя, выбор режимов измерения и калибровки, а также выбор формы индикации и регистрации результатов измерения осуществляется с помощью клавиатуры на передней панели прибора. ПО и алгоритмы отдельных подпрограмм разработаны таким образом, чтобы исключить неправильную работу измерителя в результате неправильных действий оператора.

Результат измерения отображается на экране БИ модулем отображения и управления. Управление работой анализатора выбор режимов измерения и калибровки, а также выбор формы индикации и регистрации результатов измерения осуществляется с помощью клавиатуры в диалоговом режиме.

Программное обеспечение и алгоритмы отдельных подпрограмм разработаны таким образом, чтобы исключить неправильные действия оператора. Программное обеспечение анализатора, реализующее алгоритм его функционирования и различные сервисные функции, хранятся в модуле компьютерном.

В **третьей главе** приводится разработанная методика калибровки векторного анализатора цепей Р4-МВМ-118. В этой методике установлены операции и средства калибровки Р4-МВМ-118, описаны процедуры определения метрологических характеристик анализатора, представлен алгоритм обработки результатов измерения.

Для оценки неопределенности измерения отклонения установки частоты и отсчета частоты выбрана следующая модель:

$$\Delta_f = f_r - f_э - \Delta_э + \Delta_d, \text{ Гц}, \quad (1)$$

где  $f_r$  – показание калибруемого анализатора, Гц;

$f_э$  – показание эталонного частотомера, Гц;

$\Delta_э$  – поправка на неточность эталонного частотомера, Гц;

$\Delta_d$  – поправка на дискретность установки частоты калибруемого анализатора, Гц.

Для оценки неопределенности отклонения измерения КСВН выбрана следующая модель:

$$\Delta_{КСВН} = K_{СТУ_{и}} - K_{СТУ_{эт}} + \Delta_{КВ} + \Delta_{рас}, \quad (2)$$

где  $\Delta_{КСВН}$  – оцениваемое отклонение измерения КСВН;

$K_{СТУ_{и}}$  – показание калибруемого анализатора;



$K_{\text{СТУэт}}$  – значение КСВН эталонной нагрузки;  
 $\Delta_{\text{кв}}$  – поправка из-за конечного разрешения калибруемого анализатора;  
 $\Delta_{\text{рас}}$  – поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте.

Для оценки неопределенности определения отклонения измерения ослабления выбрана следующая модель:

$$\Delta_A = A_{\text{и}} - A_{\text{эт}} + \Delta_{\text{кв}} + \Delta_{\text{рас}}, \text{ дБ}, \quad (3)$$

где  $\Delta_A$  – оцениваемое отклонение измерения ослабления, дБ;  
 $A_{\text{и}}$  – показание калибруемого анализатора, дБ;  
 $A_{\text{эт}}$  – значение ослабления эталонного аттенюатора, дБ;  
 $\Delta_{\text{кв}}$  – поправка из-за конечного разрешения калибруемого анализатора, дБ;  
 $\Delta_{\text{рас}}$  – поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте, дБ.

Для оценки неопределенности определения отклонения измерения фазы КП выбрана следующая модель:

$$\Delta_{\varphi_{\text{КП}}} = \varphi_{\text{КПи}} - \varphi_{\text{КПэт}} + \Delta_{\text{кв}} + \Delta_{\text{рас}}, \text{ град.}, \quad (4)$$

где  $\Delta_{\varphi_{\text{КП}}}$  – оцениваемое отклонение измерения фазы КП, град.;  
 $\varphi_{\text{КПи}}$  – показание калибруемого анализатора, град.;  
 $\varphi_{\text{КПэт}}$  – значение фазы аттенюатора, град.;  
 $\Delta_{\text{кв}}$  – поправка из-за конечного разрешения калибруемого анализатора, град.;  
 $\Delta_{\text{рас}}$  – поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте, град.

Для оценки неопределенности определения отклонения измерения фазы коэффициента отражения выбрана следующая модель:

$$\Delta_{\varphi_{\text{КО}}} = \varphi_{\text{КОи}} - \varphi_{\text{КОэт}} + \Delta_{\text{кв}} + \Delta_{\text{рас}}, \text{ град.}, \quad (5)$$

где  $\Delta_{\varphi_{\text{КО}}}$  – оцениваемая погрешность измерения фазы КО, град.;  
 $\varphi_{\text{КОи}}$  – показание калибруемого анализатора, град.;  
 $\varphi_{\text{КОэт}}$  – значение фазы эталонной нагрузки, град.;  
 $\Delta_{\text{кв}}$  – поправка из-за конечного разрешения калибруемого анализатора, град.;  
 $\Delta_{\text{рас}}$  – поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте, град.

Для этих параметров составлены бюджеты неопределенности и приведены выражения стандартной и расширенной неопределенности измерения калибруемых параметров.

В **четвертой главе** определены требования к разрабатываемому цифровому модулю автоматической регулировки мощности. Разработаны структурная схема, электрическая принципиальная схема и блок-схемы работы программного обеспечения для данного модуля.

Структурная схема цифрового модуля автоматической регулировки мощности приведена на рисунке 2.

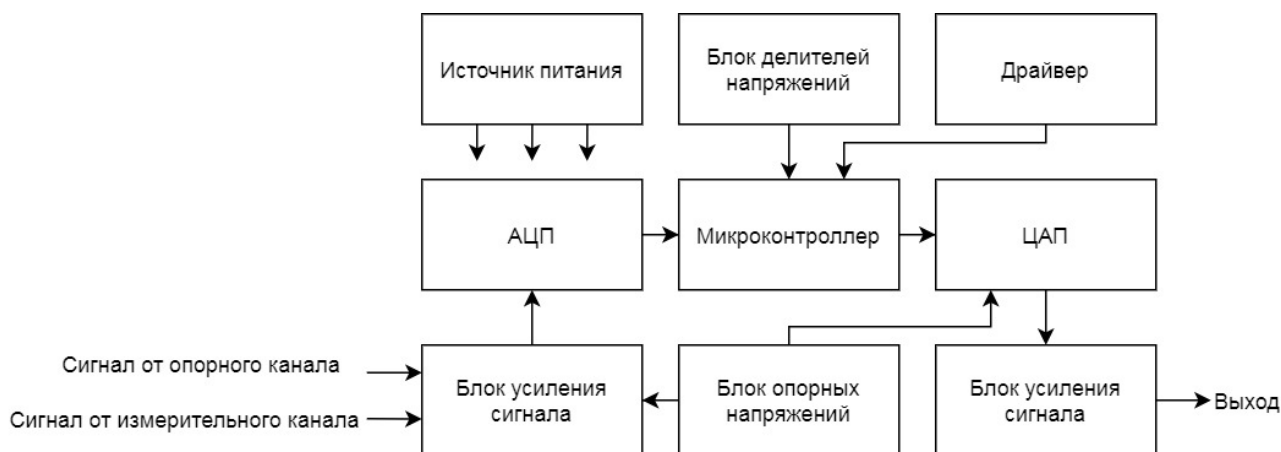


Рисунок 2 – Структурная схема цифрового модуля автоматической регулировки мощности

Блок состоит из следующих модулей:

- Аналого-цифрового преобразователя;
- Цифро-аналогового преобразователя;
- Блоков усиления на входах и выходах;
- Микроконтроллера;
- Блока опорных напряжений.

В **пятой главе** представлены результаты экспериментальных исследований параметров векторного анализатора цепей P4-MVM-118.

Результаты экспериментальных исследований при определении отклонения установки и отсчета частоты сигнала анализатора соответствуют требуемым значениям во всех частотных точках.

Результаты экспериментальных исследований при калибровке анализатора в режиме измерения КСВН соответствуют требуемым значением во всех частотных точках.

Результаты экспериментальных исследований при калибровке анализатора в режиме измерения модуля коэффициентов передачи (ослабления) соответствуют требуемым значением во всех частотных точках.

Результаты экспериментальных исследований при калибровке анализатора в режиме измерения фазы коэффициентов передачи (ослабления) соответствуют требуемым значением во всех частотных точках.

Результаты экспериментальных исследований при калибровке анализатора в режиме измерения фазы коэффициентов отражения соответствуют требуемым значениям во всех частотных точках.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе проведен анализ источников ЭМИ, рассмотрены методы и средства экранирования ЭМИ, а так же методы и средства измерений параметров и характеристик экранов.

Описаны устройство и принцип действия ВАЦ Р4-МВМ-118. Разработана методика калибровки этого векторного анализатора цепей, в этой методике установлены операции, средства калибровки ВАЦ, описаны процедуры определения отклонения установки и отсчета частоты, калибровки анализатора в режиме измерения КСВН, калибровки анализатора в режиме измерения модуля коэффициентов передачи (ослабления), калибровки анализатора в режиме измерения фазы коэффициентов отражения, калибровки анализатора в режиме измерения фазы коэффициентов передачи (ослабления), представлены алгоритмы обработки результатов измерений. С использованием разработанной методики были проведены экспериментальные исследования параметров и характеристик ВАЦ. На основании полученных результатов сделан вывод о том, что ВАЦ Р4-МВМ-118 соответствует заявленным характеристикам.

Разработаны структурная, электрическая принципиальные схемы и программное обеспечение цифрового модуля автоматической регулировки мощности.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанная методика калибровки может служить основой для написания методик калибровки ВАЦ СВЧ диапазона конкретных типов и исследования их метрологических характеристик. Спроектированный цифровой модуль автоматической регулировки мощности может использоваться при изготовлении ВАЦ для различных участков диапазона СВЧ.

Результаты работы апробированы на 10-ой Международной НТКМУС «Новые направления развития приборостроения» – БНТУ (Минск, 26–28 апреля 2017 г.), 53-ей Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Телекоммуникационные системы и сети» – БГУИР (Минск, 25-30 апреля 2017 г.) и опубликованы в материалах этих конференций.

Все основные результаты работы внедрены в Центре 1.9 НИЧ БГУИР.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1 Кирикович, И.А., Белошицкий А.П., Сайков А.В. Векторный анализатор цепей КВЧ диапазона: материалы 10-й Международной научно-технической конференции «Новые направления развития приборостроения» - БНТУ - Минск, 2017 – Том 2 – С.81-82.

2 Кирикович, И.А. Векторный анализатор цепей КВЧ диапазона: материалы 53-й Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов - БГУИР – Минск, 2017 – С.104-105