

УДК 621.369.9

## **РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОПОГЛОЩАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ С ВЫСОКИМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ**

**В. И. Иванова, С. Г. Кибец, И. И. Краснолобов, А. Н. Лагарьков, А. А. Политико,  
В. Н. Семенов, В. А. Чистяев**

**Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук  
(ИТПЭ РАН), Москва**

Статья поступила в редакцию 3 июня 2016 г.

**Аннотация.** Представлено широкополосное радиопоглощающее покрытие марки РАН-67, разработанное ИТПЭ РАН. Описываются испытания, которым подвергается данное покрытие, для оценки его стойкости к воздействию внешних факторов. Предлагается методика измерения температурной зависимости коэффициента отражения плоских образцов покрытий при нормальном падении электромагнитной волны. Приводятся сравнительные характеристики диаграмм обратного рассеяния образца покрытия, частотные зависимости коэффициента отражения, характеристики прочности покрытия при нормальном отрыве.

**Ключевые слова:** радиопоглощающее покрытие, коэффициент отражения, физико-механические характеристики, диаграмма обратного рассеяния.

**Abstract.** The problem of stabilizing parameters of antennas placed on a metal platform is actual in connection with the development of ultra-wideband antenna systems. Due to the diffraction and interference phenomena on a metal platform there is a substantial violation of radio parameters of antenna systems: irregularity of radiation patterns, violation of polarization patterns, etc. Application of broadband radio absorbing materials (RAM) on the platform considerably diminishes irregularity of antenna radiation patterns and stabilizes its radio technical characteristics. In practice such RAM are used because of influence of difficult

complex of environmental factors. Within the framework of decision of this problem broadband multi-layered RAM of brand RAN-67 developed by ITAE RAS is presented. RAM RAN-67 is intended for reduce of reflection coefficient of elements of objects construction in frequency range from 8 to 18 GHz. Modulus of reflection coefficient of RAM RAN-67 at normal incidence of electromagnetic waves in this frequency range makes minus 15 dB no more. In the paper the following tests are described that exposed the RAM to assess its resistance to external influencing factors: temperature ageing, thermocycling, influence of positive and negative temperatures and others. The method is proposed for measuring the temperature dependence of the reflection coefficient of flat RAM samples in the wide frequency range from 2 to 24 GHz at normal incidence of electromagnetic waves. As results the comparative characteristics of radar cross section diagrams, frequency dependences of reflection coefficient and characteristics of RAM resistance at opening fracture mode are suggested. It is shown in the total that RAM RAN-67 has high-level operating reliability. At development of this RAM the following principle was realized: “adhesive strength is higher than cohesive”. The observance of this principle eliminates a possibility of exfoliation of layers by big pieces which can damage the construction of antenna platform. The high-level radio absorbing properties of RAM RAN-67 in the frequency range from 8 to 18 GHz in combination with high mechanical characteristics, and also rather small weight and thickness (about 4 mm), allow to recommend this RAM for application in ultra-wideband antenna systems.

**Key words:** radar absorbing material, reflection coefficient, physical and mechanical properties, radar cross section diagram.

## 1. Введение

Для разработки сверхширокополосных (СШП) антенных систем является актуальным снижение коэффициента отражения электромагнитной волны от металлической платформы, на которой установлена СШП антенная система, а также минимизация обратного рассеяния волны на платформе. Последнее

достигается применением на платформах СШП радиопоглощающих покрытий (РПП), существенно снижающих изрезанность диаграмм направленности антенн и стабилизирующих их радиотехнические характеристики. Как правило, на практике такие РПП должны использоваться при воздействии сложного комплекса внешних воздействующих факторов.

В рамках решения данной задачи в ИТПЭ РАН разработано многослойное широкополосное РПП марки РАН-67. РПП РАН-67 предназначено для снижения коэффициента отражения электромагнитной волны от элементов конструкции объектов в диапазоне частот от 8 до 18 ГГц.

Покрытие РАН-67 относится к группе силоксановых материалов и представляет собой многослойный композиционный материал на основе кремнийорганического связующего, наполненного мелкодисперсными порошками модифицированного железа. Нанесение покрытия производят послойно методом лакокрасочного напыления. Покрытие не токсично, трудно горюче. Типичная частотная зависимость коэффициента отражения РПП РАН-67 при нормальном падении электромагнитной волны представлена на рис. 1.

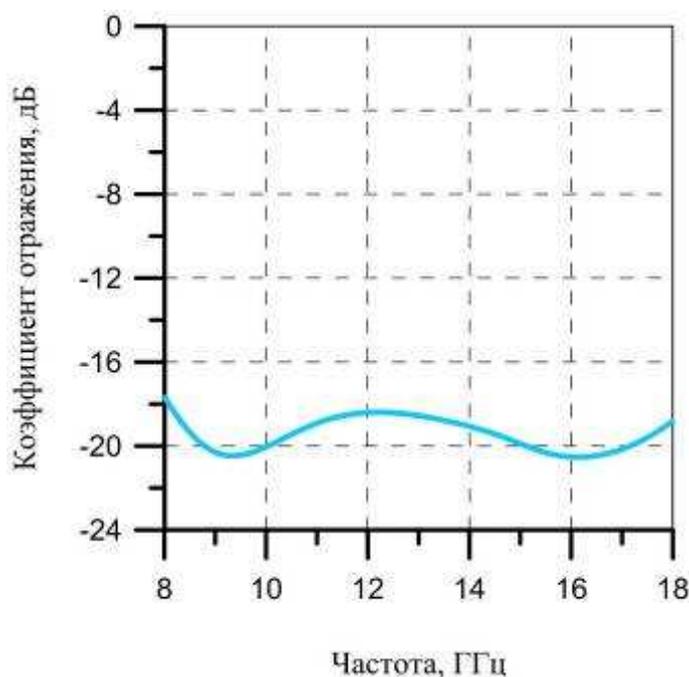


Рис. 1. Типичная частотная зависимость коэффициента отражения РПП РАН-67.

При разработке покрытия РАН-67 ставилась задача сохранения высоких радиофизических и физико-механических свойств покрытия при воздействии наиболее критичных климатических факторов. К таким факторам относятся: воздействие повышенных и пониженных температур, воздействие повышенной влажности, солевого (морского) тумана, термическое старение покрытия при низких и высоких температурах, циклическое изменение температуры окружающей среды.

## **2. Методика испытаний радиопоглощающего покрытия на стойкость к внешним воздействующим факторам**

Для оценки стойкости РПП РАН-67 к внешним воздействующим факторам были проведены следующие виды испытаний:

- повышенная относительная влажность воздуха 100% при +35 °С,
- термическое старение при температурах минус 60 °С и +120 °С,
- периодическое изменение температур от минус 60 °С до +120 °С (термоциклирование),
- нагрев до максимальной +180 °С и охлаждение до минимальной минус 70 °С рабочей температуры с измерением температурной зависимости коэффициента отражения.

До испытаний предварительно был изготовлен комплект образцов РПП РАН-67: 5 шт. размером 200×200 мм (для измерения диаграмм обратного рассеяния и коэффициентов отражения при нормальном падении волны) и 30 шт. размером 50×50 мм (для проведения физико-механических испытаний).

В качестве контролируемых показателей при проведении испытаний покрытия оценивались:

- 1) изменение внешнего вида покрытия - образование пузырей, трещин, расслоений и т.д. (определялось визуально),
- 2) изменение частотной зависимости коэффициента отражения покрытия при нормальном падении электромагнитной волны в диапазоне частот от 2 до 24 ГГц,

3) изменение прочности покрытия при нормальном отрыве.

Контроль коэффициента отражения РПП РАН-67 в процессе испытаний осуществлялся на специализированном стенде для измерения радиофизических свойств и параметров материалов и покрытий. Измерения на стенде проводились по аттестованной методике измерений электрофизических параметров материалов в свободном пространстве в ближней зоне рупорных антенн, разработанной в ИТПЭ РАН [1]. В основе методики измерения лежит измерение коэффициента отражения  $S_{11}$  квазиплоской электромагнитной волны образцов материалов с помощью сверхширокополосной диафрагмированной линзовой рупорной антенны и векторного анализатора электрических цепей. На рис. 2 представлена принципиальная схема измерительной установки. При проведении измерений образец покрытия помещался в окно круглой металлической радиопоглощающей диафрагмы (6), расположенной в ближней зоне рупорной антенны Пб-23М (4), для минимизации вклада от процессов дифракции на краях образца и кромках рупорной антенны. В процессе измерения коэффициента отражения образца в зоне за диафрагмой устанавливалась согласованная нагрузка – объемный радиопоглощающий блок (5) с низким коэффициентом отражения в рабочей полосе частот (не выше минус 55 дБ) для исключения дополнительных паразитных отражений от окружающего пространства. Для устранения влияния переотражений между измеряемым образцом и рупорной антенной использовалась временная селекция мешающих отражений (Time Domain) с подавлением эффекта Гиббса [2].

Данная методика обеспечивает измерение низких значений коэффициента отражения материалов до уровней ниже минус 50 дБ с погрешностью не более 1 дБ и предельно высоких значений коэффициента отражения с погрешностью не более  $\pm 0,1$  дБ.

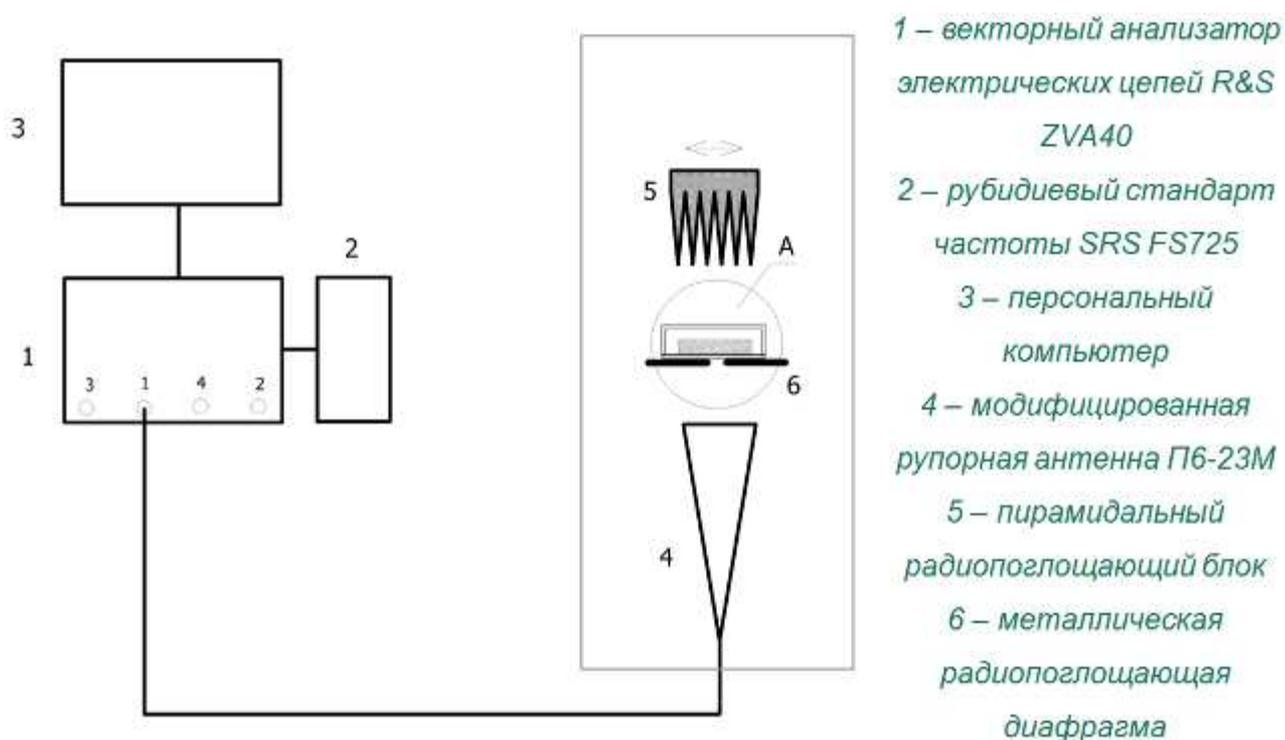


Рис. 2. Блок-схема измерительной установки.

Испытания образцов на стойкость к воздействию повышенной влажности проводились согласно методике, составленной на основе ГОСТ 9.719-94 [3]. Образцы размещались в герметичных контейнерах, изготовленных из полипропилена. В каждый контейнер наливалась дистиллированная вода по уровню на 10 мм ниже нижнего края образца. Затем контейнеры с образцами помещались в термостат, в котором поддерживалась постоянная температура +35 °С. На рис. 3 показана схема такого испытательного стенда. При проведении испытаний первоначально образец был измерен в исходном состоянии при комнатной температуре (+20 °С) и нормальной влажности. После 1000 часов воздействия влажного тепла было проведено финальное измерение частотной зависимости коэффициента отражения РПП в диапазоне частот от 2 до 24 ГГц с промежуточным измерением после 600 часов воздействия.

При испытаниях на стойкость к воздействию термического старения при максимальной рабочей температуре +120 °С и минимальной рабочей температуре минус 60 °С вначале образцы измерялись до термического

старения. Затем в соответствии с указанным видом испытаний одни образцы подвергались непрерывному прогреву в термошкафу BINDER FR-240 (диапазон температур: +25 °С ... +300 °С), а другие непрерывно охлаждались в промышленной морозильной камере SANYO MDF-193 (диапазон температур: минус 50 °С ... минус 86 °С) при заданной температуре.

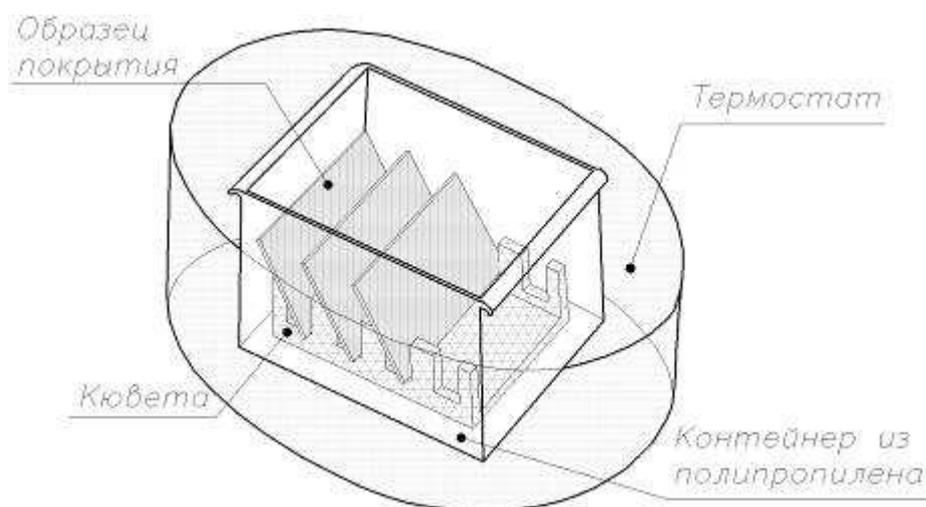


Рис.3. Схематичный вид установки для проведения испытаний на стойкость к воздействию повышенной влажности.

Термостарение образцов велось непрерывно в течение 1000 часов с промежуточными съемами: 200 часов выдержки и 600 часов выдержки. В итоге для каждого образца покрытия было проведено четыре измерения коэффициента отражения: в исходном состоянии, после 200 часов старения, после 600 часов старения, после 1000 часов старения. Измерения проводились в диапазоне частот от 2 до 24 ГГц при комнатной температуре (+20 °С).

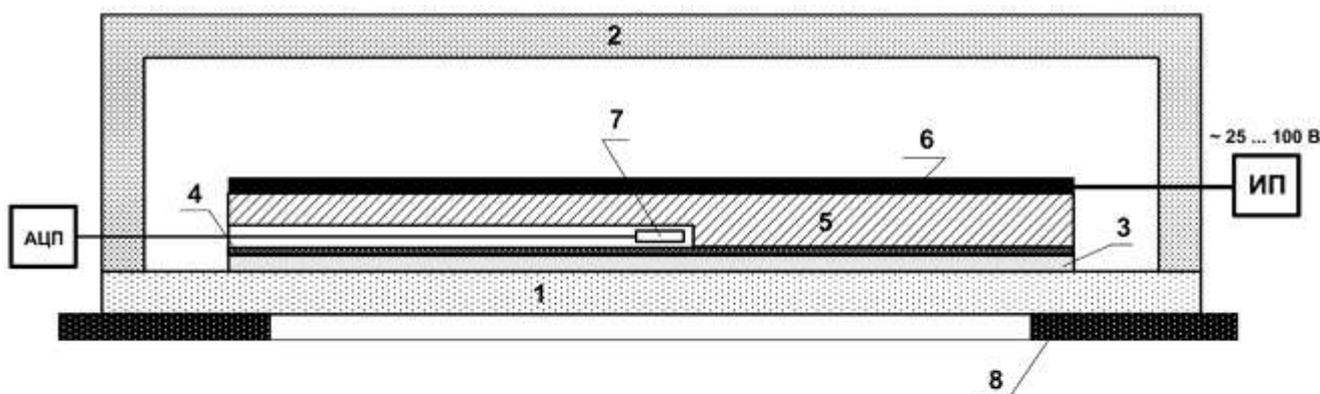
Похожим образом происходили испытания РПП на стойкость к периодическому изменению температур. Вначале образец покрытия измеряли до термоциклирования при комнатной температуре. После проводилось термическое охлаждение образца до температуры минус 60 °С (с выдержкой 30 мин при данной температуре). Затем образец извлекали из морозильника и выдерживали до достижения комнатной температуры (+20 °С). Температуру

поверхности образца измеряли термоанемометром. Далее образец подвергали термическому нагреву в термошкафу до температуры  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$  (с последующей стабилизацией температуры в течение 30 мин). После прохождения 60 аналогичных циклов нагрева и охлаждения провели измерения частотной зависимости коэффициента отражения образца покрытия в диапазоне частот от 2 до 24 ГГц при комнатной температуре.

Измерения температурной зависимости коэффициента отражения [4, 5] образца покрытия проводились в диапазоне частот от 2 до 24 ГГц в интервале температур от минус  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для охлаждения образца до температуры минус  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  использовалась горизонтальная низкотемпературная морозильная камера SANYO MDF-193. В морозильную камеру помещался образец вместе с малоотражающей теплоизолированной ячейкой (рис. 4) и массивной металлической пластиной (5) с впаянным температурным датчиком (7), которая тыльной стороной прижималась к металлической подложке РПП (4). При достижении требуемой температуры образец покрытия вместе с пластиной в теплоизолированной ячейке (1, 2) переносился на измерительный стенд, где производились измерения коэффициента отражения образца покрытия. Пластина (5) сразу же подключалась к источнику питания (ИП) переменного тока для осуществления ее разогрева путем подачи на контакты переменного напряжения от 25 до 100 В. Измерения и контроль температуры осуществлялись с помощью аналогового платинового термосопротивления, интегрированного в металлическую пластину, и аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). Запись и первичная обработка результатов измерений коэффициента отражения проводились с интервалом  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  в автоматизированном режиме средствами программного обеспечения, разработанного на языке C++.

Нижняя крышка термоячейки (1), изготовленная из радиопрозрачного материала ТЗМ-23М на основе стеклянных волокон, при измерениях помещалась на диафрагму с нанесенным радиопоглощающим покрытием (8).

Верхняя крышка ячейки (2) была сделана из теплоизоляционного материала АТМ-9 на основе супертонкого кремнеземного волокна.



- 1 – нижняя крышка термоизолированной ячейки из материала ТЗМ-23М
- 2 – верхняя крышка термоизолированной ячейки из материала АТМ-9
- 3 – образец покрытия РАН-67
- 4 – металлическая подложка образца
- 5 – металлическая пластина
- 6 – плоский электрический нагреватель
- 7 – аналоговый платиновый температурный датчик
- 8 – металлическая радиопоглощающая диафрагма

Рис.4. Схема термоизолированной ячейки (вид А).

Для устранения градиента температур во время измерений были предприняты следующим шагами:

- 1) во-первых, верхняя крышка термоячейки и металлическая пластина охлаждались в морозильной камере до той же температуры, что и образец;
- 2) во-вторых, напряжение на контакты металлической пластины подавалось таким образом, чтобы разогрев образца происходил со скоростью не более 1 °С в минуту.

Образование конденсированной влаги на поверхности РПП при смене температур способно существенно повлиять на результат измерения коэффициента отражения покрытия. Во избежание влияния конденсата на измерения отражения, образец покрытия вместе с металлической пластиной

обертывался тонкой (толщиной около 60 мкм) майларовой пленкой с высокой температурой плавления.

При достижении верхнего порога температуры +180 °С измерения температурной зависимости коэффициента отражения образца РПП РАН-67 были закончены.

Для оценки радиопоглощающих свойств РПП РАН-67 не только при нормальном облучении, но и при различных углах падения электромагнитной волны проводились измерения диаграмм обратного рассеяния (ДОР) – однопозиционных диаграмм эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) образца покрытия. Был проведен сравнительный анализ ДОР «голой» металлической пластины размером 200×200 мм и пластины того же размера с нанесенным на одну из ее сторон покрытием РАН-67.

Измерения ДОР проводились в безэховой камере (БЭК) согласно аттестованной методике измерений. Схема измерений приведена на рис. 5.

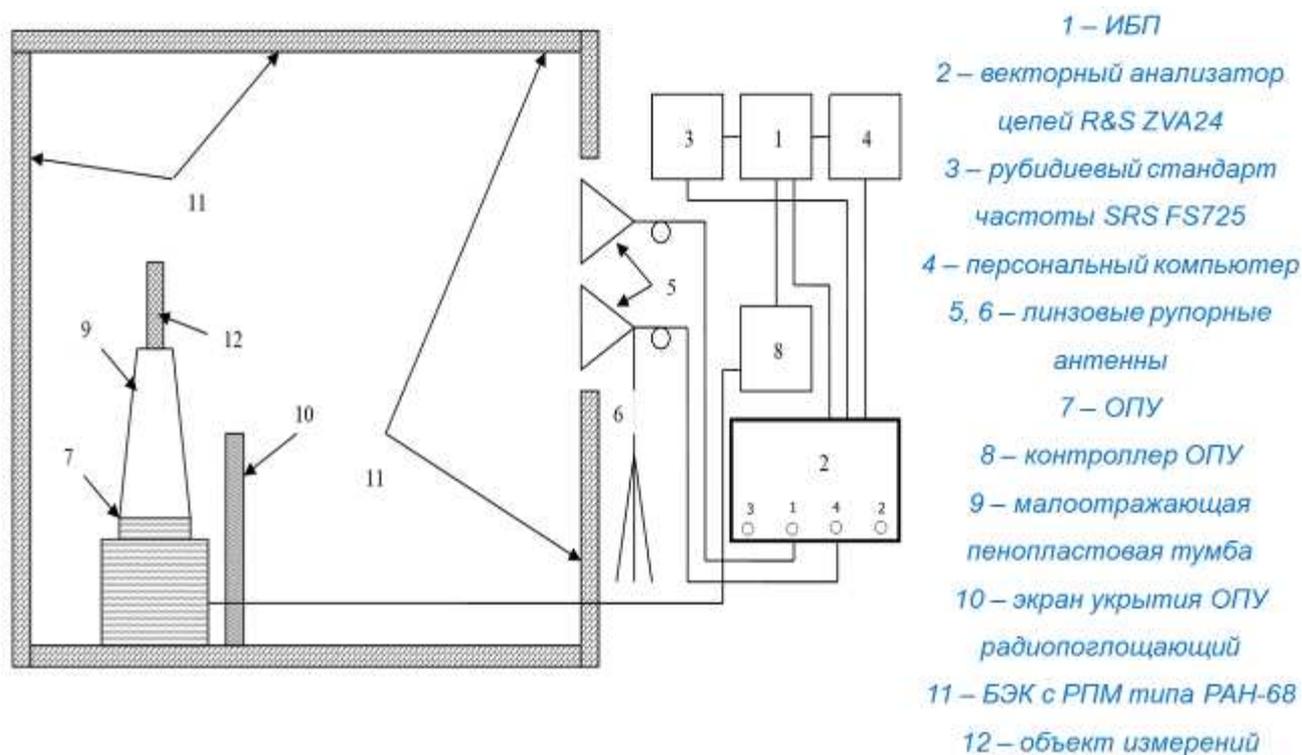


Рис.5. Схема безэховой камеры для проведения измерений ДОР и ЭПР объектов.

При проведении измерений образец покрытия размещался на малоотражающей пенопластовой опоре, расположенной на опорно-поворотном устройстве (ОПУ). Высота опоры подбиралась таким образом, чтобы образец покрытия располагался в центре рабочей зоны электромагнитного поля, создаваемого приемной и передающей антеннами Пб-23М. Измерения ДОР образца покрытия проводились в диапазоне частот от 2 до 18 ГГц для двух поляризаций электромагнитного поля: горизонтальной и вертикальной. Для устранения влияния паразитных отражений от задней и боковых БЭК, а также пола и потолка с целью выделения полезного сигнала применялись методы цифровой обработки с фильтрацией сигнала во временной области (Time Domain).

В заключение для оценки изменения физико-механических свойств образцов покрытия РАН-67 по каждому виду испытаний были проведены измерения прочности связи РПП с подложкой при равномерном отрыве на разрывной машине Instron 3369. Сущность метода заключается в измерении силы, необходимой для разрушения связи между поверхностями РПП и подложки, на которую нанесено РПП. При этом усилие должно действовать перпендикулярно к поверхности соединения. На рис. 6 представлен общий вид схемы для проведения испытаний образцов на отрыв.

Испытания на отрыв образцов размером 50×50 мм проводились следующим образом. Со стороны покрытия и со стороны подложки соосно приклеивали металлические цилиндры. Со стороны покрытия кольцевой фрезой покрытие прорезали до подложки. Затем образец закрепляли в зажимном устройстве разрывной машины и проводили испытания до разрушения образца с регистрацией максимальной силы и характера разрушения. Прочность связи РПП с подложкой для каждого образца определялась по формуле:

$$\sigma, [МПа] = \frac{F}{A}, \quad (1)$$

где:  $F$  – максимальная приложенная сила, [кгс];

$A$  – площадь поперечного сечения образца, [см<sup>2</sup>].

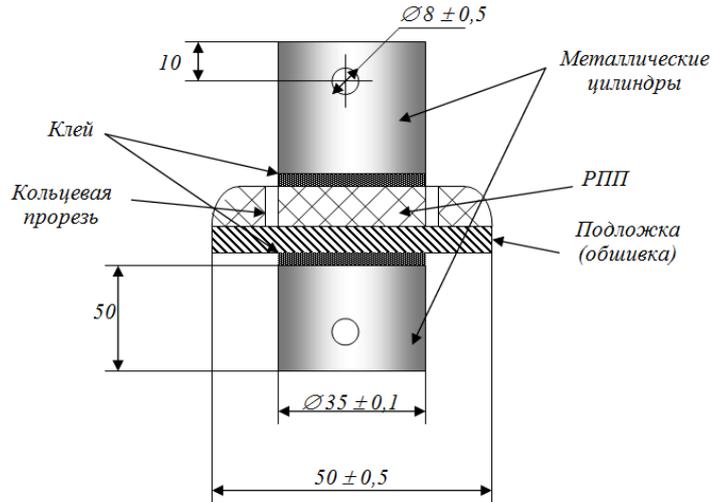


Рис.6. Образец для измерения прочности связи РПП с подложкой при нормальном отрыве.

### 3. Анализ результатов испытаний

Результаты проведенных испытаний образцов РПП РАН-67 свидетельствуют о том, что покрытие имеет значительные вариации значений коэффициента отражения при изменении температуры. На рис. 7 представлено несколько кривых частотной зависимости в диапазоне от 8 до 18 ГГц коэффициента отражения образца покрытия в интервале температур от минус 70 °С до +180 °С. Для удобства отображения на графике показаны кривые, записанные с шагом 10 °С. Выносными линиями изображены зависимости, полученные в исходном состоянии при комнатной температуре +20 °С, при минимальной температуре минус 70 °С и при максимальной +180 °С.

Охлаждение образца покрытия приводит к смещению зависимости коэффициента отражения в область высоких частот с формированием одного выраженного локального минимума на частоте 17,3 ГГц. При термическом нагреве наоборот происходит смещение частотной зависимости коэффициента отражения в область более низких частот со снижением значения минимума отражения до уровня минус 37 дБ. При этом точно так же формируется

единственный локальный минимум частотной зависимости коэффициента отражения в данном диапазоне на частоте 9,9 ГГц. Однако и при нагреве до максимальной температуры, и при охлаждении до минимальной РПП РАН-67 сохраняет свою работоспособность – значения коэффициента отражения удовлетворяют требованиям технических условий (не более минус 15 дБ в диапазоне частот от 8 до 18 ГГц) на данное покрытие независимо от его рабочей температуры. Такие смещения обусловлены значительными изменениями диэлектрической и магнитной проницаемости материала покрытия в данном диапазоне температур.

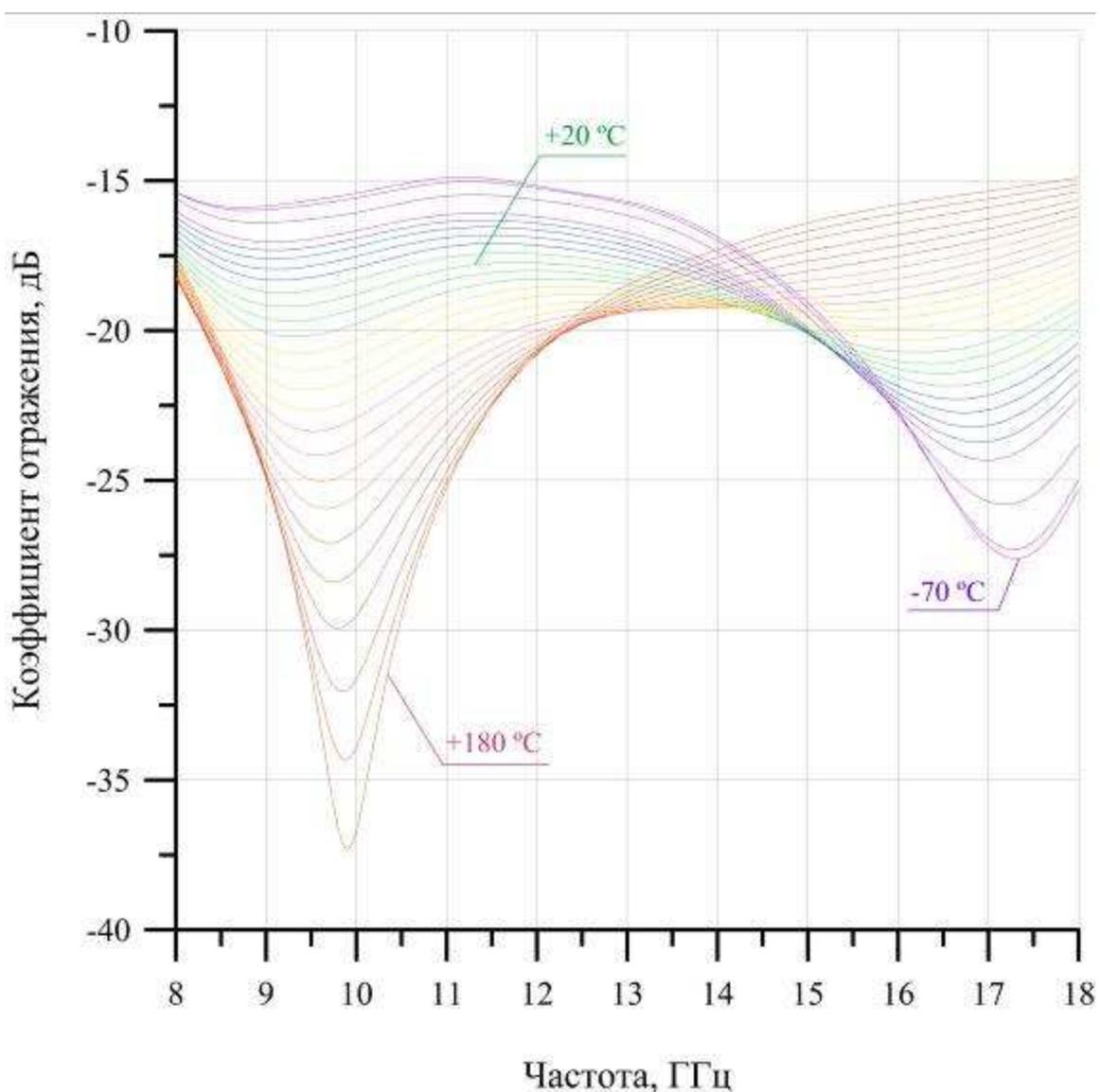


Рис.7. Частотная зависимость коэффициента отражения РПП РАН-67 в диапазоне температур от минус 70 °C до +180 °C.

На рис. 8 приведены зависимости коэффициента отражения образца покрытия РАН-67 от температуры на фиксированных частотах 2, 7, 8, 10, 12, 16, 18, 19 и 23 ГГц. Анализ результатов показывает, что наибольшие изменения коэффициента отражения наблюдаются на частотах в окрестности формирования локальных минимумов частотной зависимости коэффициента отражения: 10 и 18 ГГц.

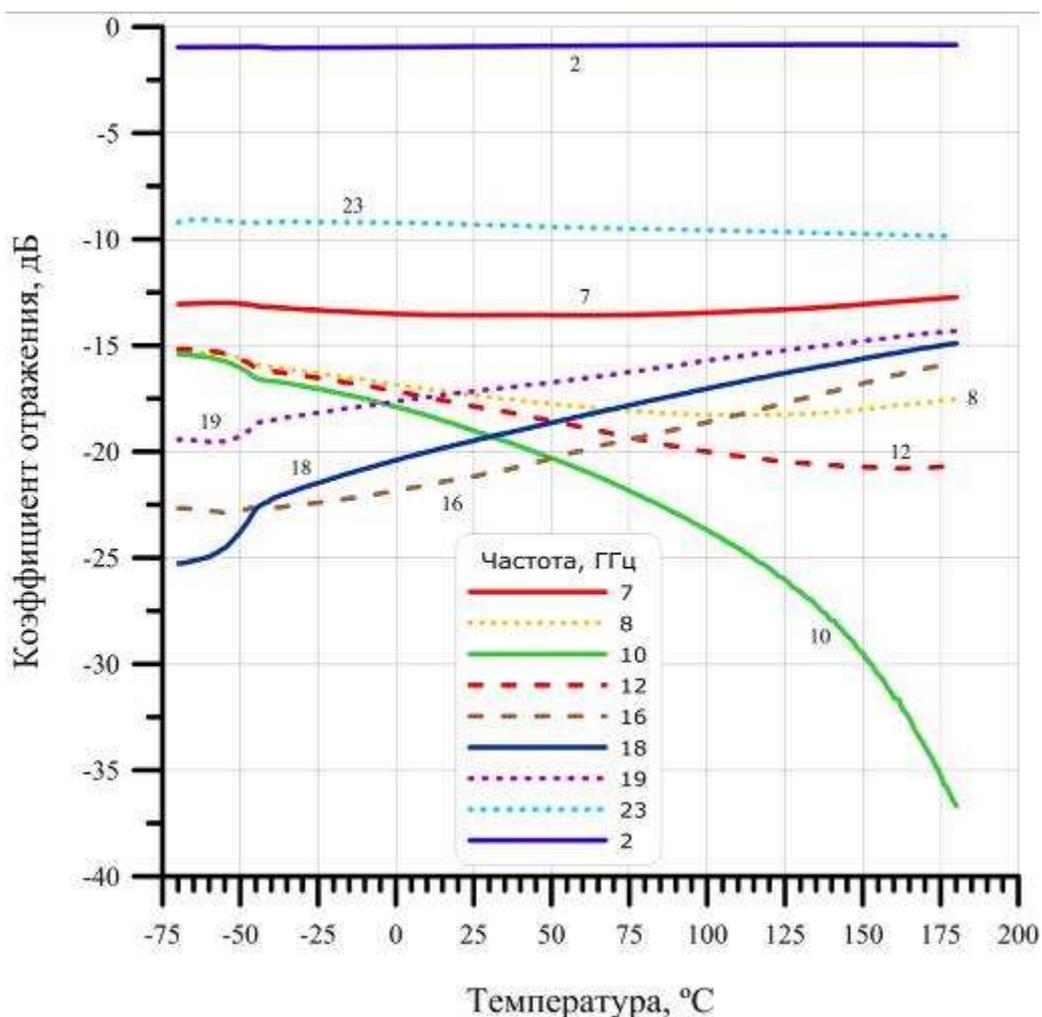


Рис. 8. Зависимости коэффициента отражения образца РПП от температуры на частотах 2, 7, 8, 10, 12, 16, 18, 19 и 23 ГГц.

Стоит отметить, что при температуре приблизительно минус 45 °C у покрытия РАН-67 наблюдается фазовый переход. Такой вывод можно сделать по характерному излому кривых зависимости коэффициента отражения от температуры на рис. 8.

РПП РАН-67 является стойким к воздействию повышенной влажности в

течение 1000 часов. Результаты испытаний образцов покрытия на стойкость к воздействию повышенной влажности, представленные на рис. 9, подтверждают, что зависимость коэффициента отражения от воздействия влажного тепла незначительна.

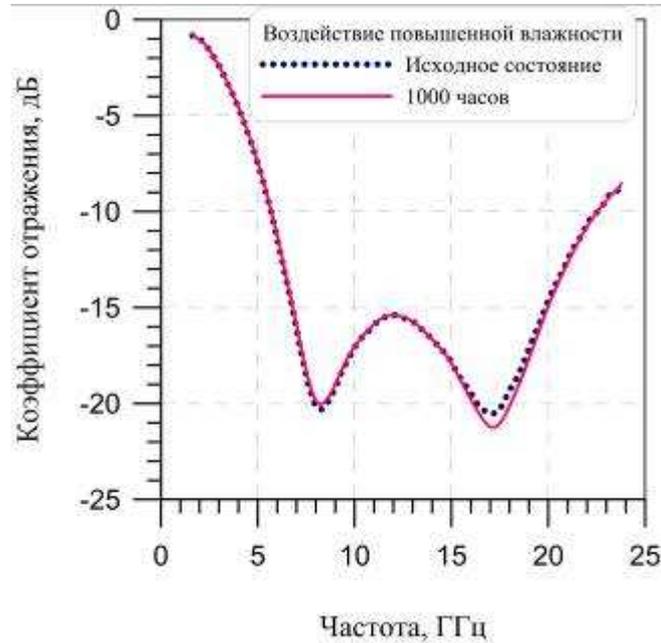


Рис. 9. Частотная зависимость коэффициента отражения РПП РАН-67 при испытаниях на стойкость к воздействию повышенной влажности.

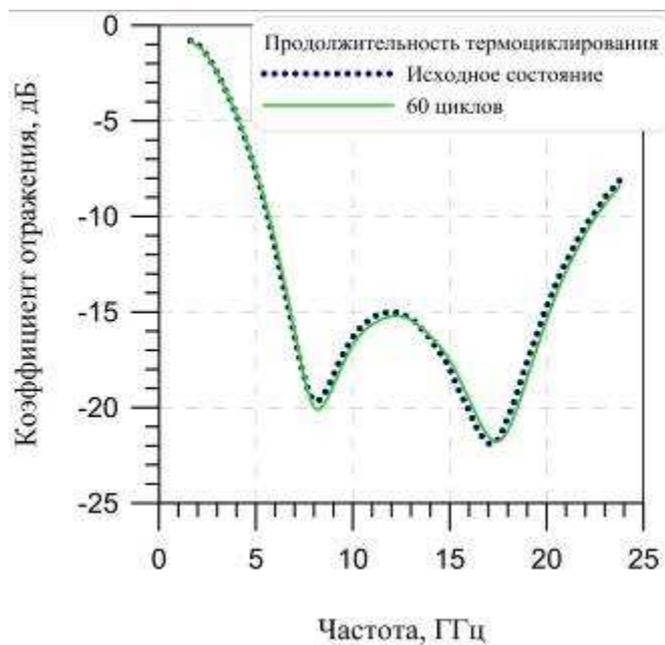


Рис. 10. Частотная зависимость коэффициента отражения РПП РАН-67 при испытаниях на стойкость к воздействию термоциклирования.

На рис. 10 приведены результаты испытаний покрытия на стойкость к воздействию термоциклирования. Покрытие РАН-67 демонстрирует слабую зависимость значений коэффициента отражения от воздействия циклических изменений температуры среды – после 60 циклов модуль коэффициента отражения отличается от исходного состояния на величину порядка 1,5 дБ. Обнаружено, что после прохождения 20 циклов значения коэффициента отражения во всем диапазоне от 2 до 24 ГГц остаются практически неизменными. Это связано с прохождением образцами покрытия термостабилизации и завершением процессов отверждения.

Результаты испытаний покрытия РАН-67 на стойкость к продолжительному воздействию пониженных и повышенных температур приведены на рис. 11 и 12. Из графиков видно, что РПП имеет высокую стойкость к воздействию термического старения как при низких (минус 60 °С), так и при высоких (+120 °С) температурах. Покрытие полностью сохраняет свою работоспособность после теплового старения в течение 1000 часов.

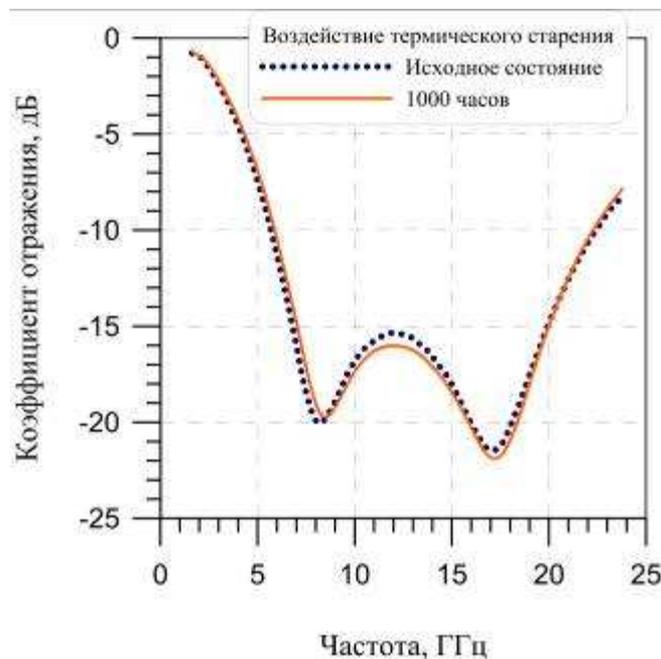


Рис. 11. Частотная зависимость коэффициента отражения РПП РАН-67 при испытаниях на стойкость к воздействию термостарения при +120 °С.

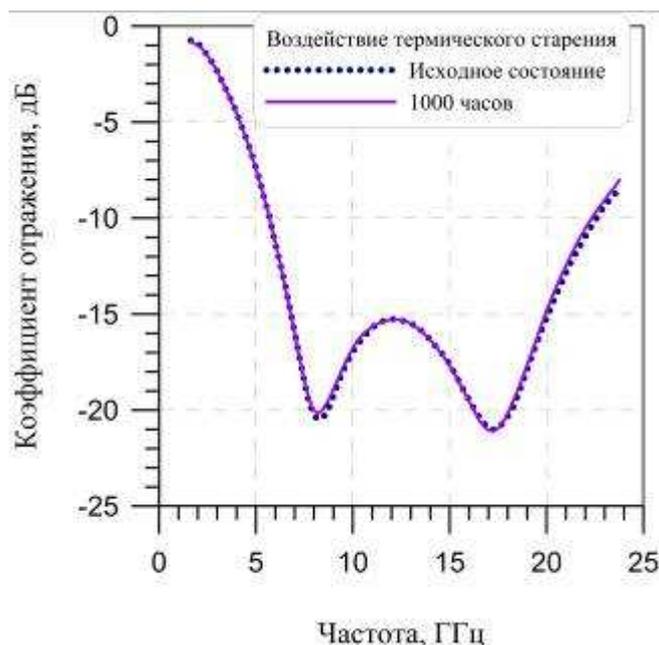


Рис. 12. Частотная зависимость коэффициента отражения РПП РАН-67 при испытаниях на стойкость к воздействию термостарения при минус 60 °С.

Таблица 1. Результаты испытаний прочности покрытия РАН-67 при равномерном отрыве.

№ п/п	Вид испытания	Прочность связи с подложкой при отрыве, МПа
1	Исходное состояние	4,2
2	Термостарение 1000 ч при +120 °С	4,2
3	Термостарение 1000 ч при минус 60 °С	3,8
4	Повышенная влажность 1000 ч при +35 °С	4,0
5	Термоциклирование 1000 ч	3,4
6	Норма согласно ТУ на РПП РАН-67	> 2,0

Результаты испытаний покрытия РАН-67 на нормальный отрыв от алюминиевой подложки представлены в таблице 1 и на рис. 13. Для всех образцов, соответствующих различным видам испытаний, разрушение происходило по клею. Значения показателя прочности связи РПП с подложкой при нормальном отрыве показывают, что воздействия внешних факторов не

оказывают заметного влияния на физико-механические характеристики покрытия. Изменение внешнего вида покрытия в результате проведенных испытаний незначительно – при визуальном анализе на образцах не обнаружено пузырей, трещин, расслоений, каверн и других дефектов.

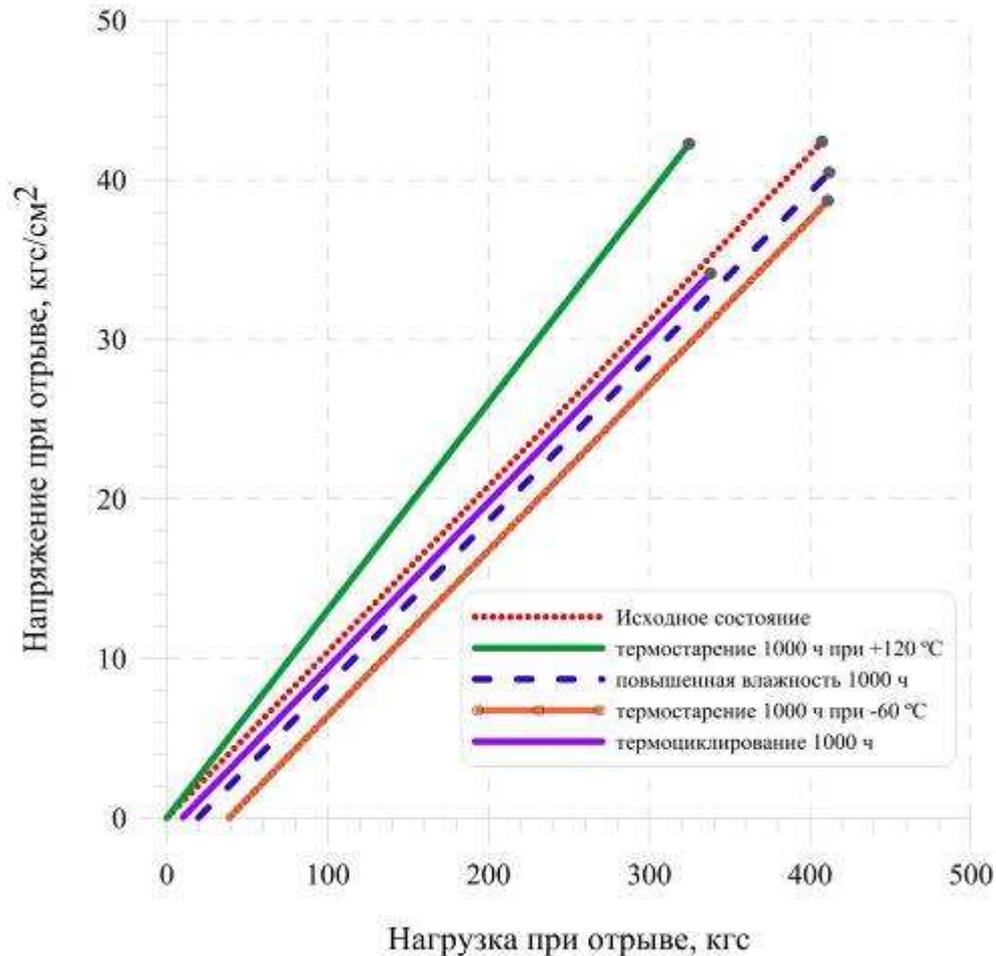
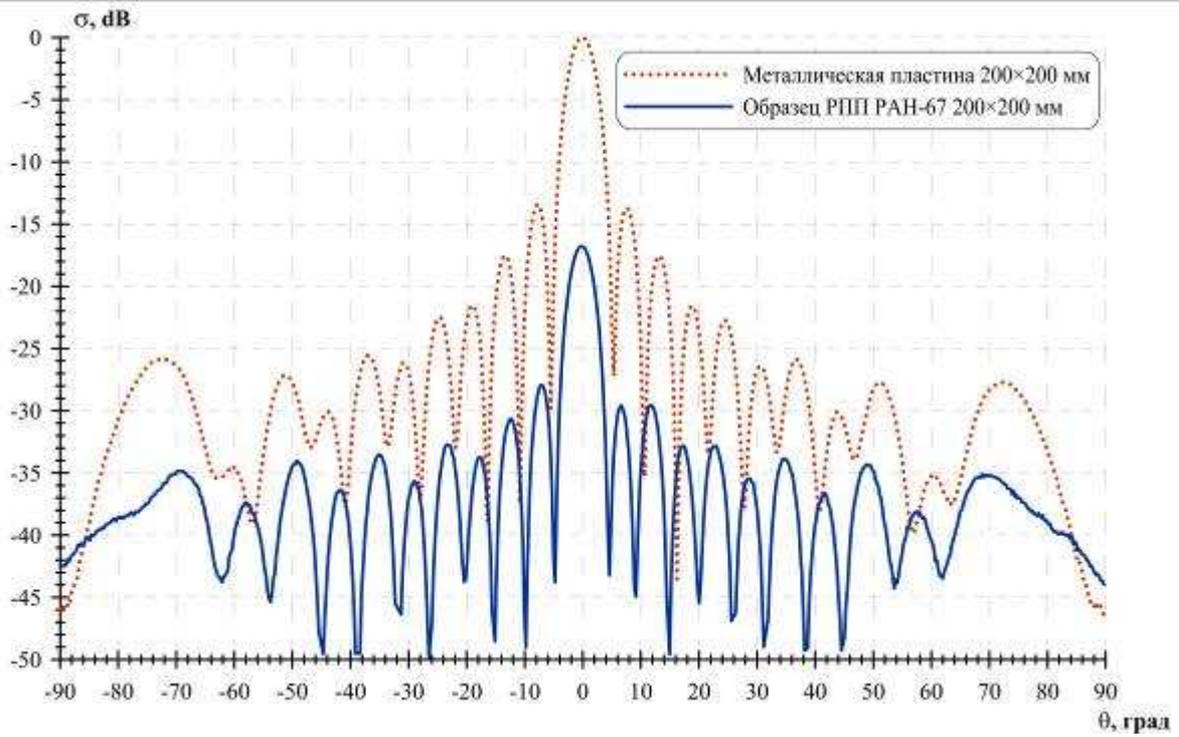
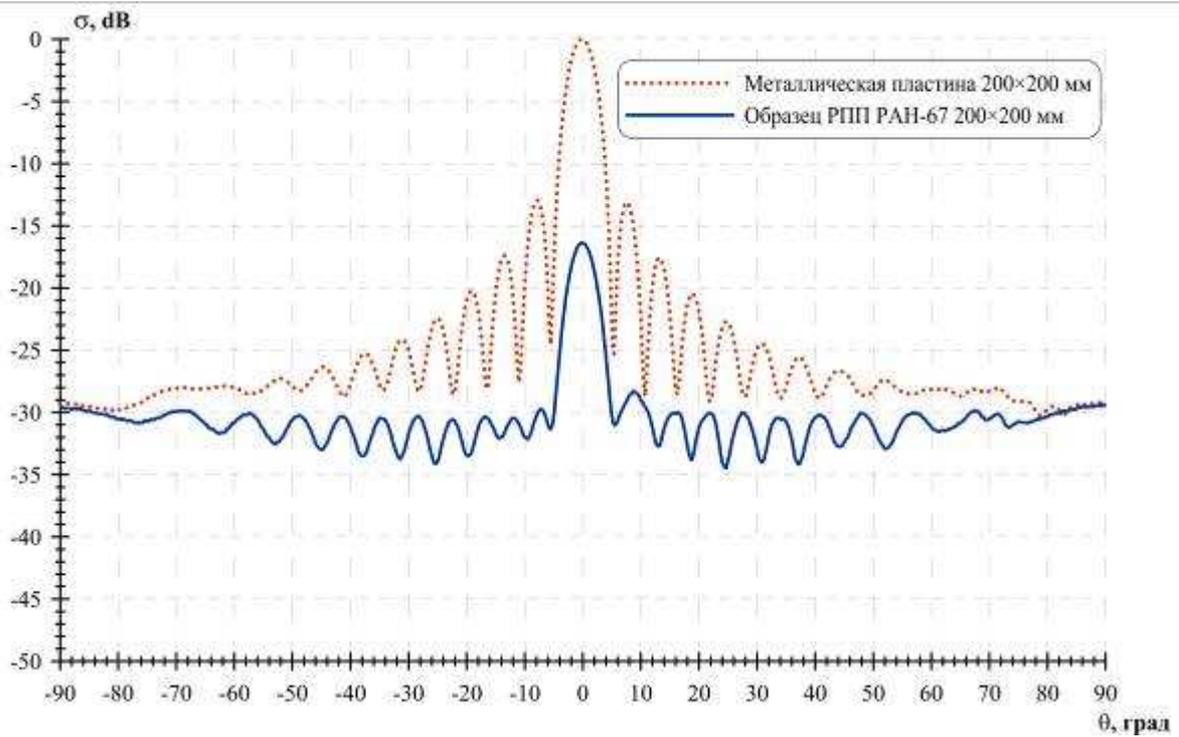


Рис. 13. Прочность связи РПП РАН-67 с подложкой по результатам испытаний.

На рис. 14-16 представлены диаграммы обратного рассеяния образца покрытия РАН-67 на металлической подложке, а также металлической пластины того же размера без покрытия на частотах 8, 12 и 18 ГГц при горизонтальной (а) и вертикальной (б) поляризациях электромагнитного поля. Измерения показывают, что нанесение РПП РАН-67 на металлическую пластину размером 200×200 мм способно уменьшить ее ЭПР на величину порядка 5...20 дБ при углах падения волны до 85 град в широком диапазоне частот.

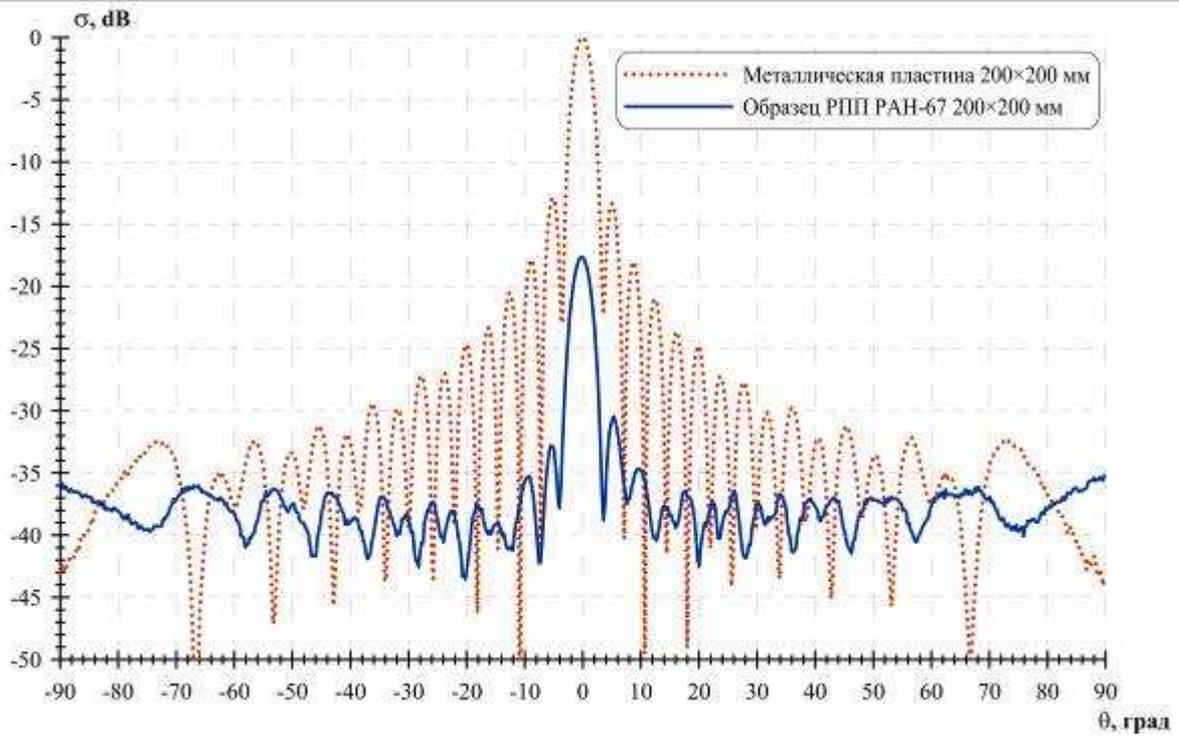


а)

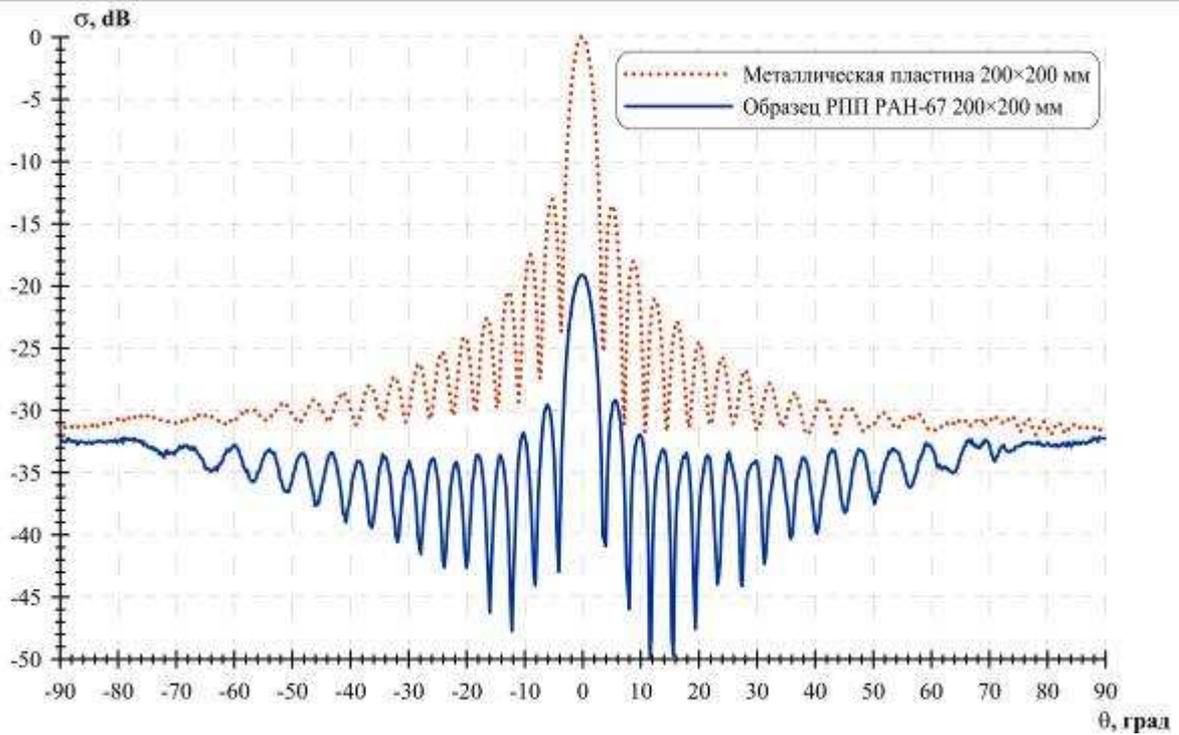


б)

Рис. 14. ДОР образца покрытия РАН-67 размером 200×200 мм в сравнении с ДОР металлической пластины того же размера на частоте 8 ГГц при горизонтальной (а) и вертикальной (б) поляризации электромагнитного поля

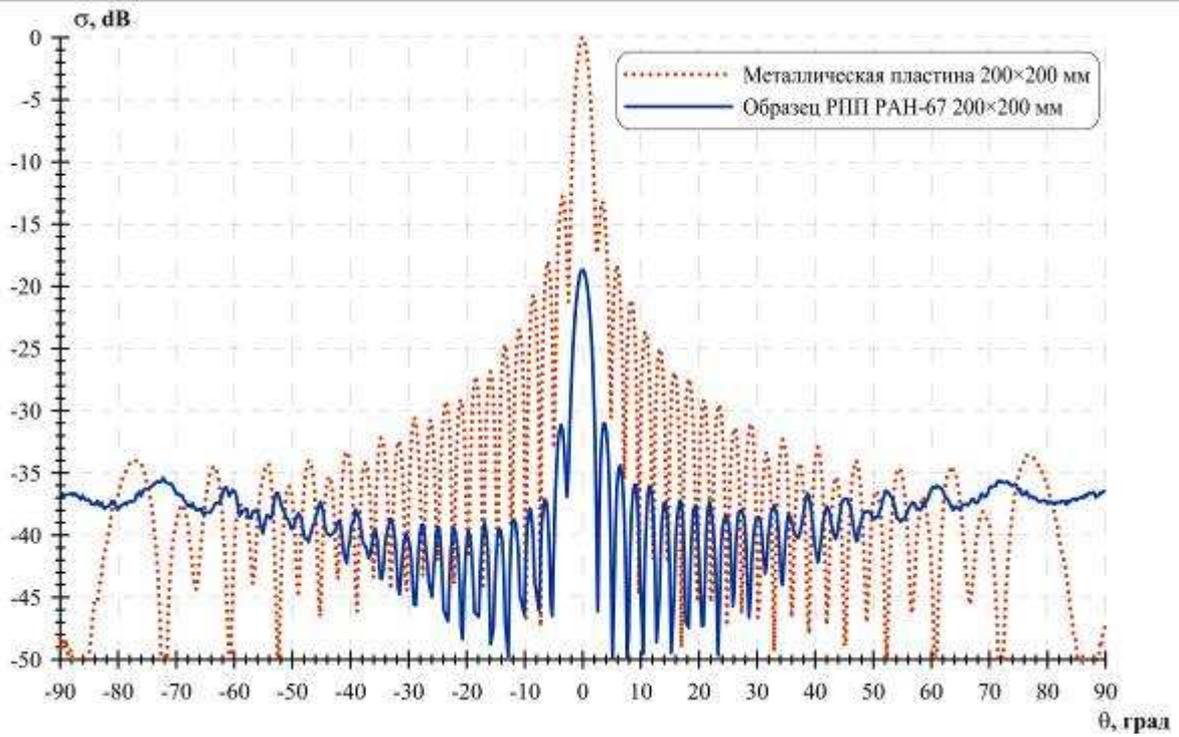


а)

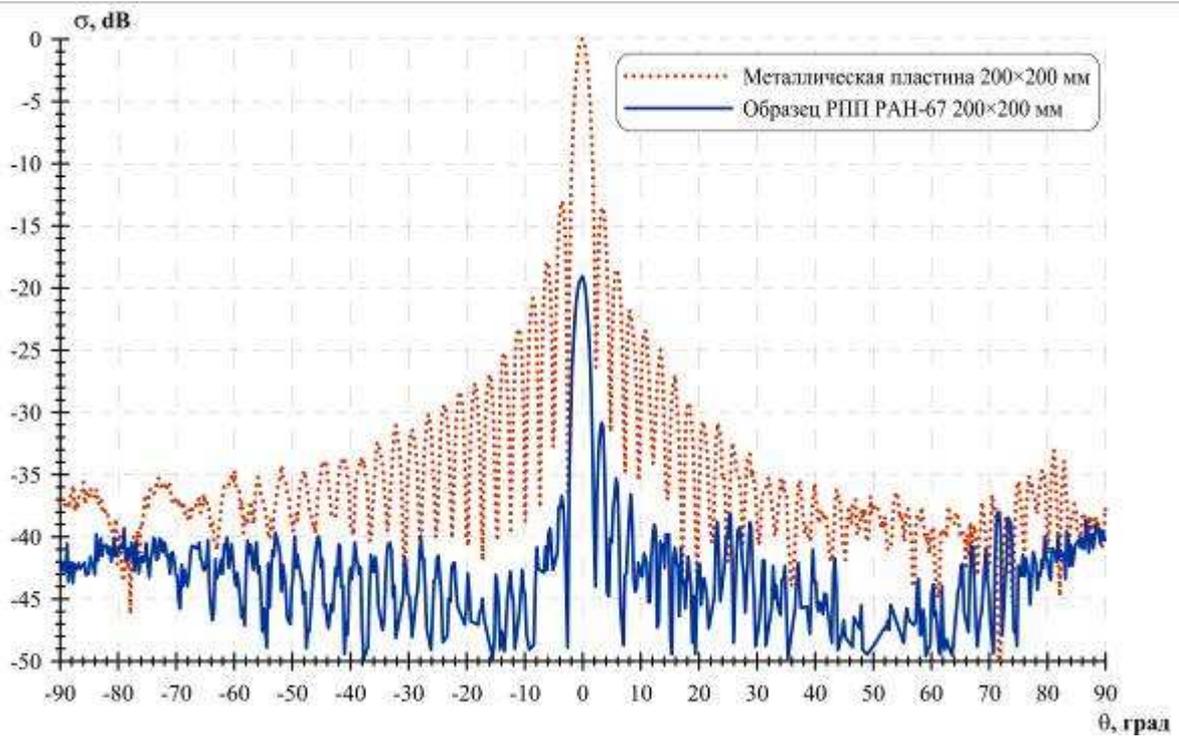


б)

Рис. 15. ДОР образца покрытия РАН-67 размером 200×200 мм в сравнении с ДОР металлической пластины того же размера на частоте 12 ГГц при горизонтальной (а) и вертикальной (б) поляризации электромагнитного поля



а)



б)

Рис. 16. ДОР образца покрытия РАН-67 размером 200×200 мм в сравнении с ДОР металлической пластины того же размера на частоте 18 ГГц при горизонтальной (а) и вертикальной (б) поляризации электромагнитного поля

#### 4. Заключение

Стойкость РПП РАН-67 к воздействию повышенных и пониженных температур, термоциклированию, термостарению, повышенной влажности демонстрирует высокую эксплуатационную надежность данного покрытия. При разработке РПП РАН-67 был реализован принцип: «адгезионная прочность выше когезионной». Соблюдение этого принципа исключает возможность отслоения покрытия большими кусками, которые могут повредить конструкцию изделия с антенной платформой. Высокие радиопоглощающие свойства РПП РАН-67 в частотном диапазоне от 8 до 18 ГГц в сочетании с хорошими физико-механическими характеристиками, а также сравнительно небольшой толщиной (порядка 4 мм) и, как следствие, массой позволяют рекомендовать данное покрытие для применения в СШП антенных системах. Материалы данной работы были представлены на Шестой общероссийской научно-практической конференции «Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем» [6].

#### Литература

1. Семененко В.Н., Чистяев В.А. Сверхширокополосная методика измерения электрофизических параметров листовых материалов в свободном пространстве // Материалы 20-й Международной крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», Сентябрь, 2010, Севастополь, Украина, с. 1091-1092.
2. Семененко В.Н., Чистяев В.А. Подавление эффекта Гиббса при цифровой обработке сигналов для повышения точности измерений параметров материалов // Пятнадцатая ежегодная научная конференция ИТПЭ РАН: Москва, 12-15 мая 2014 г.: Сборник тезисов докладов. М: ИТПЭ РАН, 2014, с. 34-35.
3. ГОСТ 9.719-94 «Методы испытаний на старение при воздействии влажного тепла, водяного и солевого тумана».

4. Семененко В.Н., Кибец С.Г., Чистяев В.А., Политико А.А. Измерение коэффициента отражения радиопоглощающих покрытий в диапазоне рабочих температур // Доклады 2-й Всероссийской Микроволновой конференции, ИРЭ РАН, Москва, 26-28 ноября 2014 г., с. 409-414.
5. Кибец С.Г., Политико А.А., Семененко В.Н., Чистяев В.А. Измерение коэффициента отражения радиопоглощающих покрытий в широком диапазоне температур // Шестнадцатая ежегодная научная конференция ИТПЭ РАН, Москва, 18-21 мая 2015 г., с. 44-45.
6. Иванова В.И., Кибец С.Г., Краснолобов И.И., Лагарьков А.Н., Политико А.А., Семененко В.Н., Чистяев В.А. Разработка широкополосного радиопоглощающего покрытия с высокими эксплуатационными свойствами // Шестая общероссийская научно-практическая конференция «Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем» («СВЧ-2016») – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016, с.180-195.