

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТА С МОНОРЕЛЬСОМ ТАЛИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЕГО ЭПР

Н.П. Балабуха¹, А.С. Зубов¹, Н.Л. Меньших *¹, В.С. Солосин¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук, Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 15.05.2024
Одобрена после рецензирования 20.05.2024
Принята к публикации 21.05.2024

Аннотация

В работе представлена оценка влияния взаимодействия объекта измерения с монорельсом тали при экспериментальных исследованиях характеристик рассеяния объектов на примере автоматизированного измерительного комплекса – компактного полигона ИТПЭ РАН. Монорельс тали используется для установки объектов измерения на позиционеры, а также для установки самих позиционеров, и потому проходит непосредственно над рабочей зоной измерительного комплекса. Рассмотрены модельные задачи по измерению характеристик рассеяния идеально проводящего диска, которые наглядно показывают, что сигнал от взаимодействия с монорельсом может превышать измеряемый сигнал от самого объекта. Задачи решались в оптическом приближении. Для оценки некоторых конструктивных особенностей монорельса был проведен расчет поля рассеяния на монорельсе методом интегральных уравнений. Выявлено, что на результаты измерения характеристик рассеяния могут влиять не только переотражения между объектом и нижней полкой монорельса, но и переотражения, связанные с наличием двугранного уголка, образованного верхней частью швеллера и его вертикальной стенкой. Предложена схема покрытия монорельса широкополосным радиопоглощающим покрытием для снижения данного влияния на результаты измерения. Предложенная схема была реализована для рассматриваемого измерительного комплекса.

Ключевые слова: компактный полигон, помеховые сигналы, безэховая камера, эффективная площадь рассеяния, метод физической оптики

EDN MZMEYU

doi:10.24412/2949-0553-2024-210-23-32

Введение

Компактный полигон предназначен для измерения характеристик рассеяния объектов и радиотехнических параметров излучения антенн с высокой точностью [1]. С помощью коллиматора в виде зеркала или линзы формируется квазиплоская электромагнитная волна в области пространства, которая называется рабочей зоной [2].

Наиболее широкое распространение получили компактные полигоны с зеркальным коллиматором, предложенные более полувека назад [3]. Зеркало коллиматора – главная часть компактного полигона, поэтому ей уделяется особое внимание при проектировании измерительного комплекса. Существуют разные схемы формирования квазиплоской волны. Используются зеркала с звездообразной кромкой [4] или со скругленными краями [5]. Разработаны схемы с двумя зеркалами [2, 6].

Помимо проблемы формирования волны, наиболее приближенной к плоской в некоторой области пространства, при измерении характеристик рассеяния объектов возникает еще масса других проблем. Например, стенки, пол и потолок безэховой камеры (БЭК) взаимодействуют со всеми элементами измерительного комплекса и с самим измеряемым объектом. Радиопоглощающий материал (РПМ), которым облицована БЭК, частично рассеивает падающую волну, что может портить распределение поля в рабочей зоне измерительного комплекса [1]. Отражение от стены, расположенной напротив

* Автор, ответственный за переписку: Николай Леонидович Меньших, nl_menshikh@itae.ru

зеркала коллиматора, может очень сильно влиять на результаты измерения, потому что это сигнал от очень большой плоской поверхности. Чтобы уменьшить влияние такого сигнала, эту стенку обычно ставят под углом или делают в виде клина [7].



Рисунок 1 – Фото электротали, установленной на монорельсе, для перемещения объектов измерения в АИК-КП

Когда измеряемый объект помещается в рабочую зону, возникают дополнительные взаимодействия. Объект взаимодействует с опорой [8]. Он также может взаимодействовать и с поверхностями БЭК, если они расположены недостаточно далеко или используемый материал имеет недостаточно низкий коэффициент отражения. Разрабатываются методы снижения данного взаимодействия с помощью использования специальных радиопоглощающих экранов и укрытий поворотной части опорного устройства [9].

Для установки объекта измерения в рабочую зону для больших компактных полигонов необходимо использовать тельфер (таль) [1, 2]. Т.к. компактный полигон расположен в закрытом помещении, то обычно используется электроталь, передвигающаяся по монорельсу. В автоматизированном измерительном комплексе – компактном полигоне (АИК-КП) ИТПЭ РАН используется электроталь тип 1, передвигающаяся по монорельсу, выполненному в виде двутавра. Далее в представленной работе будет рассматриваться взаимодействие объекта и монорельса тали на примере данного измерительного комплекса. Колеса электротали перемещаются по верхней части нижней полки двутавра (рисунок 1).

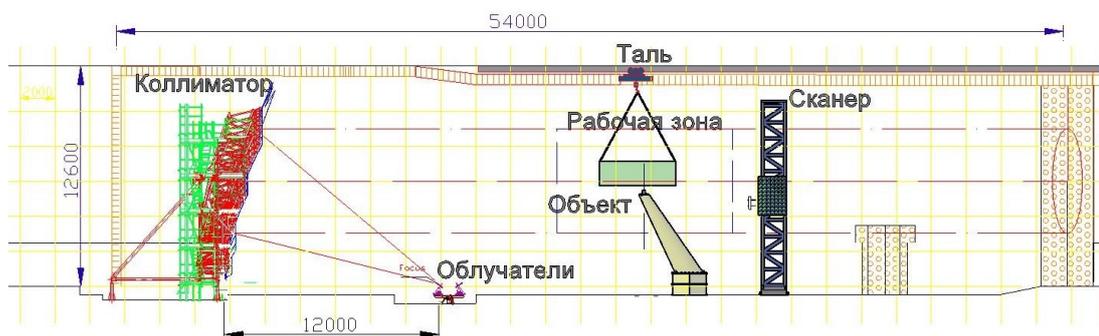


Рисунок 2 – Схема АИК-КП, вид сбоку

В силу своего предназначения таль обязательно проходит над рабочей зоной компактного полигона. В АИК-КП монорельс тали располагается параллельно оптической оси коллиматора (рисунок 2). Расположение монорельса обычно определяется тем, с какой стороны от БЭК имеется возможность разместить зал подготовки объектов к испытаниям. В ИТПЭ РАН зал подготовки объектов расположен сразу за воротами АИК-КП, т.е. также находится на продолжении оси коллиматора.

Таким образом над рабочей зоной расположен металлический швеллер, не закрытый радиопогло-

цающим материалом, расположенном на потолке БЭК. Конечно, при некоторых условиях наличие монорельса над рабочей зоной может влиять на результаты измерения характеристик рассеяния объектов, может наблюдаться взаимодействие объекта с монорельсом. Особенно вопрос существования такого взаимодействия важен в силу того, что в АИК-КП могут проводиться измерения очень протяженных объектов до 6 м длиной со сложной искривленной поверхностью.

В данной работе представлены исследования влияния взаимодействия исследуемого объекта с монорельсом тали на результаты измерения его характеристик рассеяния. Предложена схема снижения данного влияния путем установки на монорельсе тали радиопоглощающего покрытия (РПП).

Расположение монорельса тали в АИК-КП

БЭК АИК-КП имеет более 50 м в длину. Рабочая зона представляет собой горизонтально расположенный цилиндр диаметром 6 м длиной 10 м. Центр рабочей зоны располагается на двойном фокусном расстоянии зеркала коллиматора, что составляет 24 м. Рабочий диапазон частот АИК-КП составляет от 0,8 ГГц до 40,0 ГГц.

Один конец монорельса тали расположен в зале подготовки объектов. Большая часть монорельса проходит в БЭК, его второй конец расположен над дальней от коллиматора стенкой приемка с облучателями (рисунок 2). Для установки монорельса в потолке БЭК сделан скос: потолок над коллиматором на 0,5 м выше, чем над рабочей зоной. Таким образом, монорельс скрыт за РПП потолка БЭК.

Чтобы между монорельсом и РПП мог пройти тельфер, возле монорельса выполнено еще одно понижение потолка. В металлическом потолке БЭК выполнена щель размером 1800 мм (рисунок 3). Внутри щели продолжается понижение каркаса из металлических прутков, которые держат РПП. На потолке БЭК используется РПП Тростник-НП, который был изготовлен из электропроводящей бумаги. Трубки материала собраны в гирлянды, которые подвешиваются за ленты к металлическим прутьям. Для прохода тельфера и его тросов в РПП на потолке БЭК оставлена щель размером 900 мм.

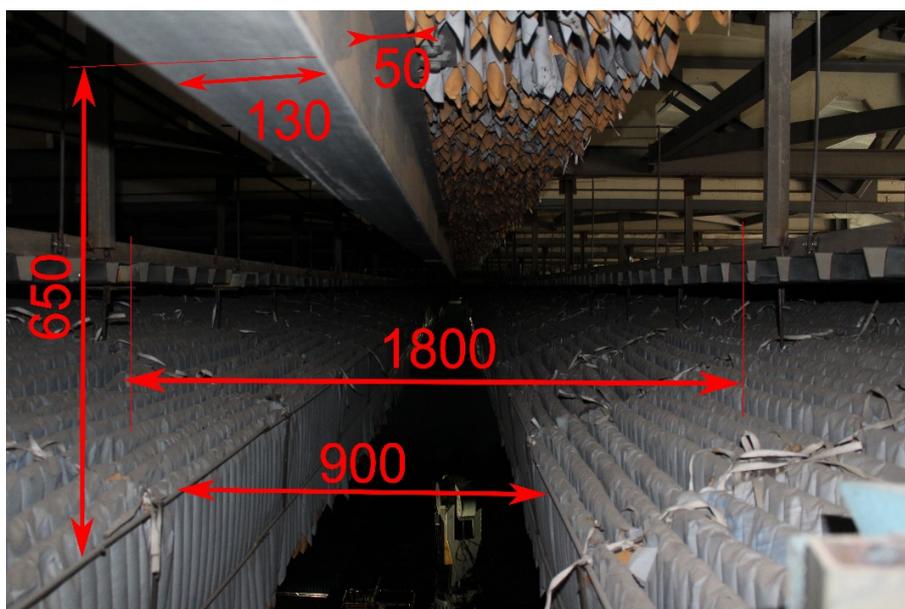


Рисунок 3 – Внешний вид зеркала коллиматора МАРК-12

Хотя монорельс и находится выше потолка БЭК и укрыт от прямого попадания на него волны, идущей от зеркала коллиматора, из точки позиционирования объекта он виден.

Сам швеллер монорельса представляет собой двутавр (рисунок 3) с размером нижней (равно как и верхней) полки 130 мм и высотой 360 мм. По обращенной вверх части нижней полки двутавра перемещаются колеса тельфера. Размер обращенных вниз частей верхней полки двутавра составляет по 50 мм с каждой стороны. Монорельс крепится к потолку помещения, в котором расположена БЭК, за верхнюю полку двутавра.

Размер рабочей зоны АИК-КП позволяет проводить измерение рассеивающих свойств объектов до 6 м в поперечном сечении. Опыт проведения измерений характеристик рассеяния объектов на АИК-КП показывает, что объекты, чье взаимодействие с монорельсом тельфера заметно, измеряются редко. Однако геометрия ряда измеряемых на АИК-КП объектов – составных частей изделий авиационной

техники – содержит участки, которые могут взаимодействовать с монорельсом тельфера.

Для определения влияния взаимодействия объекта с монорельсом тали на результаты измерения его ЭПР рассмотрены несколько модельных задач.

Взаимодействие объекта измерения с нижней полкой монорельса тали

Для оценки влияния взаимодействия объекта измерения с монорельсом тали решалась следующая модельная задача.

Круглый проводящий диск установлен в центре рабочей зоны под углом 45 градусов по углу места. В таком положении поверхность диска максимально сильно взаимодействует с монорельсом тали, что видно из схемы хода лучей, представленной на рисунке 4. Вместо волны от коллиматора рассматривается падение на диск плоской волны.



Рисунок 4 – Схема взаимодействия диска и монорельса тельфера в АИК КП

Оценим, используя оптическое приближение, влияние такого взаимодействия. Пусть диск имеет диаметр $D = 1$ метр. Тогда его площадь равна

$$S_d = \frac{\pi D^2}{4} = 0.785 \text{ м}^2.$$

При падении плоской волны на идеально проводящий диск вся волна перенаправляется на потолок БЭК, где частично взаимодействует с монорельсом тали. Площадь монорельса, на которую падает прожекторный луч от диска, можно оценить как

$$S_{\text{rail}} = w \cdot D \cos(\varphi) = 0.13 \cdot 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.092 \text{ м}^2,$$

где w – ширина нижней полки монорельса.

Так как ЭПР плоского объекта пропорциональна квадрату его площади, то квадрат отношения площадей S_{rail} и S_d позволяет оценить дополнительный вклад в ЭПР диска от переотражения с монорельсом. Площадь «засвеченной» поверхности монорельса составляет 11,7% от площади диска. Если ЭПР диска при облучении плоской волной, падающей по нормали к его поверхности, принять за 0 дБм², то дополнительный вклад в ЭПР диска от взаимодействия с монорельсом можно оценить из отношения квадратов площадей как –19 дБм². Это значительный сигнал, который показывает, что переотражения с монорельсом могут влиять на результаты, а иногда приводить к существенным ошибкам измерения без применения дополнительных мероприятий.

Даная оценка, выполненная в оптическом приближении, очень грубая. Во-первых, описанное выше приближение применимо для высоких частот, где монорельс тали (шириной 130 мм) имеет ширину не менее 3-4 длин волн. Во-вторых, использовалось приближение плоской волны. В-третьих, не учитывалась расходимость пучка лучей и игнорировались дифракционные эффекты. Тем не менее такое приближение дает наглядное представление о существовании данной проблемы.

Используя метод физической оптики (ФО), оценим количественно влияние взаимодействия с монорельсом тельфера для конкретных длин волн и размеров диска.

Поле, рассеянное в обратном направлении круглым проводящим диском в приближении ФО с некоторыми поправками на краевые эффекты [10], рассчитывается по формуле:

$$E(\theta) = -E_0 \frac{e^{ikr}}{r} \sqrt{\frac{\sigma_m}{4\pi}} \left(2 \frac{J_1(2ka \sin \theta)}{2ka \sin \theta} - i \frac{J_2(2ka \sin \theta)}{2ka \sin \theta} \right),$$

где $\sigma_m = 4\pi^3 a^4 / \lambda^2$ – ЭПР диска при нормальном падении (в квадратных метрах), a – радиус диска, θ – угол падения волны на диск, J_1 и J_2 – функции Бесселя первого и второго порядка соответственно.

Данная формула достаточно точно отражает диаграмму рассеяния плоской волны диском при углах падения до 50 градусов (отсчет от нормали к поверхности диска). Монорельс тельфера хорошо моделируется проводящей лентой. Однако, в силу того что монорельс находится на высоте 6 метров над диском и имеет ширину 0,13 м, учет неравномерности поля, падающего на монорельс, и учет диаграммы рассеяния монорельса дают малую поправку. Потому для оценки взаимодействия отраженной от диска волны с монорельсом тали используем оптическое приближение.

Моностатическая ЭПР диска $D = 2a = 1$ м при нормальном падении на частоте $f = 3,13$ ГГц составляет 29,3 дБм². Моностатическая ЭПР диска, установленного под углом места 45 градусов, составляет –16,7 дБм². Выбор частоты обусловлен тем, что на данной частоте при повороте диска на 45 градусов наблюдается максимум в диаграмме обратного рассеяния. Учитывая параметры нашей задачи, будем считать, что волна при падении на проводящую поверхность (диск) без потерь перенаправляется данной поверхностью в строгом соответствии с геометрическим ходом лучей. Площадь «засвеченной» части монорельса составляет 16,6% от площади сечения лучевой трубки после отражения луча от диска. Монорельс практически диафрагмировал пучок, поэтому для расчета распределения поля на диске нам потребовалось бы проинтегрировать распределение поля вблизи монорельса по площади «засвеченной» части монорельса. Т.к. в данной задаче диск стоит под углом 45 градусов, то видимая «засвеченная» площадь уменьшится еще в $\cos(\pi/4)$ раз. Приведенные соображения позволяют оценить уменьшение напряженности поля в точке наблюдения (совпадает с точкой излучения) по сравнению с полем в точке наблюдения при падении волны строго по нормали к поверхности диска и связать его с ЭПР диска. Оценка вклада в ЭПР диска от такого взаимодействия составляет 7,6 дБм². Этот вклад на 24 дБм² выше, чем ЭПР диска при данном позиционировании.

Полученный эффект от влияния переотражений объекта с монорельсом в численном выражении превышает измеряемую ЭПР от диска и требует применения дополнительных средств обработки сигнала при измерениях.

Методы снижения влияния взаимодействия с монорельсом

Для борьбы с паразитным сигналом от монорельса применяется селекция полезного сигнала во временной области [11]. Монорельс находится существенно выше центра рабочей зоны, поэтому основной сигнал и сигнал, отраженный от монорельса, как правило, разнесены по дальности (т.е. по времени прихода сигнала). Однако такое вычитание не всегда можно сделать для протяженных объектов и для объектов, имеющих большое количество переотражений, поскольку полезный сигнал от таких объектов может быть протяженным во времени.

Второй способ борьбы с этим сигналом – использование подвижного экрана с РПМ, установленного на монорельсе тали. Этот экран предназначен для укрытия монорельса и устранения данного помехового сигнала. На экран можно установить широкополосный пирамидальный РПМ, который фактически создаст над объектом поглощающий потолок БЭК. При этом экран может по-прежнему быть невидимым для волны, идущей от коллиматора, так как глубина щели для прохода тельфера позволяет разместить экран таким образом, чтобы он весь оставался внутри щели. Такой экран с РПМ VHP-12NRL фирмы Ecosorb реализован в АИК-КП (рисунок 2). Длина экрана составляет 6 м.

Однако использование экрана с РПМ сопряжено с некоторыми трудностями. Калибровочные измерения и измерения фона происходят в отсутствие объекта. Для того, чтобы измерение фона безэховой камеры без объекта было достаточно точным, необходимо проводить данное измерение с экраном, установленным над рабочей зоной. Но для установки объекта, перемещаемого тельфером, приходится сдвигать экран, а потом устанавливая его строго в прежнее положение, что практически невозможно. Таким образом, данный подход позволяет устранить сигнал взаимодействия с монорельсом, но не позволяет провести измерения с высокой точностью в АИК-КП.

Установка (нанесение) на монорельс широкополосного РПП позволяет существенно уменьшить взаимодействие с ним и в ряде случаев провести измерения характеристик рассеяния сложного объекта без установки подвижного экрана.

Разработка схемы нанесения РПП требует учета его геометрии. Необходимо понять, требуется ли защитить что-то еще, кроме нижней полки монорельса. Между полками двутавра и его вертикальной частью образуется двугранный уголкообразный отражатель. Если влияние уголка также может оказаться значимым, то схема нанесения РПП должна это учитывать.

Для определения «опасных» участков рассмотрим еще одну модельную задачу.

Взаимодействие объекта измерения с монорельсом тали

Рассмотрим диск диаметром 4 м, установленный в центре рабочей зоны под углом места 45 градусов и углом крена 16 градусов. Такая конфигурация обеспечивает «засветку» монорельса прожекторным лучом, сформированным коллиматором и отраженным от диска. При этом максимальная интенсивность поля оказывается вблизи монорельса, и при этом при углах крена больше 12 градусов уже виден двухгранный угол от верхней части швеллера монорельса. Такой диск позволяет моделировать ситуацию взаимодействия частей объекта с монорельсом тали.

Схема взаимодействия представлена на рисунке 5. От коллиматора квазиплоская волна распространяется параллельно оси Z и, отражаясь от диска, попадает на монорельс. Оси X и Y направлены горизонтально и вертикально в сечении, перпендикулярном оси камеры, т.е. волновой вектор волны, отраженной от диска, лежит в плоскости XY . При этом будет два помеховых сигнала, которые нам могут быть интересны: это отражение от нижней полки монорельса (зеркальное) и от двухгранного уголка верхней части швеллера. Рассчитаем два случая: взаимодействие с монорельсом-двутавром и взаимодействие только с нижней полкой монорельса. Взаимодействие с двухгранным уголком требует более тщательного моделирования, потому будем использовать не только оценочные формулы ФО. Используем пакет для электродинамического моделирования ФЕКО, где можно задействовать и строгие методы расчетов, например, метод моментов (ММ), и приближенные методы (ФО). Расчеты проводились на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см).

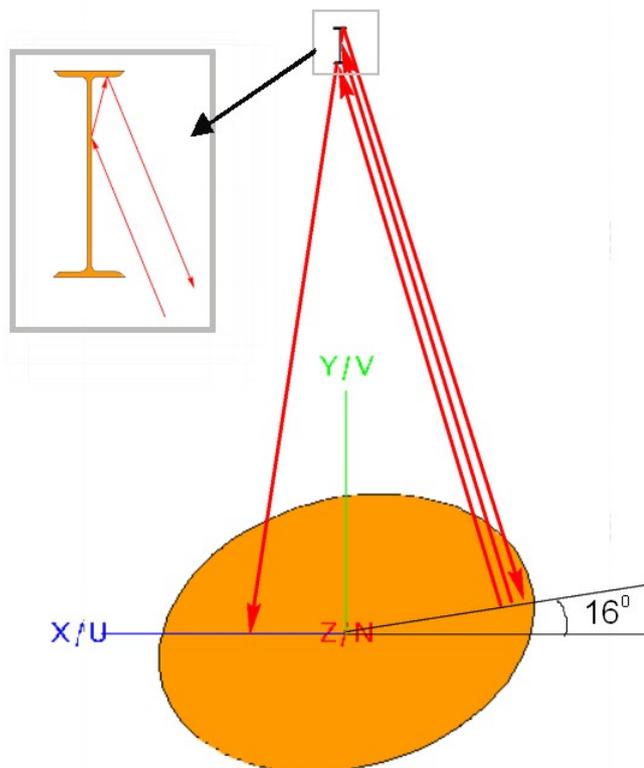


Рисунок 5 – Схема электродинамического взаимодействия большого диска, установленного при угле крена 16 градусов и угле места 45 градусов, и монорельса тали в АИК КП

Задача решалась в три этапа: на первом рассматривался диск диаметром 4 м, установленный под углом места 45 градусов и углом крена 16 градусов, облучаемый плоской волной. Задача решалась в приближении ФО. В этой задаче рассчитывалась однопозиционная ЭПР диска. Также рассчитывалось распределение поля на расстоянии 6 метров над диском – поле вблизи положения монорельса тали (самого монорельса в этой задаче нет). В нашем случае ЭПР диска при таком позиционировании на частоте 10 ГГц составляет $-18,9$ дБм². ЭПР этого же диска при облучении плоской волной, падающей по нормали к поверхности диска, составляет $63,5$ дБм².

На втором этапе поле, полученное вблизи монорельса тали, использовалось в качестве источника излучения. В этой задаче есть только монорельс тали (двутавр) или только его нижняя полка. Рассчитывалось рассеянное монорельсом (или его частью) поле на плоскости примерно в том же месте, где было задано исходное поле рассеяния диском. Расчет проводился ММ, т.к. метод ФО не позволяет правильно рассчитать поле, рассеянное таким сложным отражателем, как двухгранный уголок. На

рисунке 6 представлены результаты расчетов распределения поля вблизи монорельса (двутавра) или его части (нижней полки).

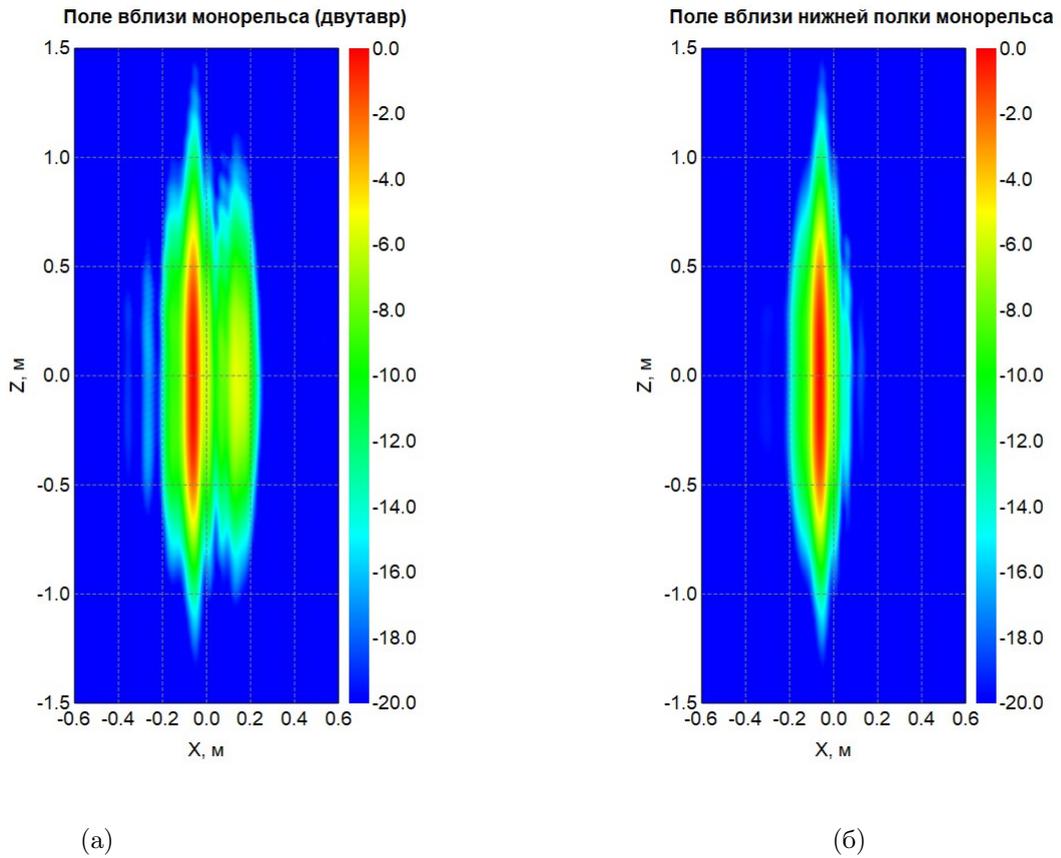


Рисунок 6 – Распределение рассеянного поля вблизи монорельса тали а) двутавра и б) нижней полки монорельса на частоте 10 ГГц, амплитуда нормирована

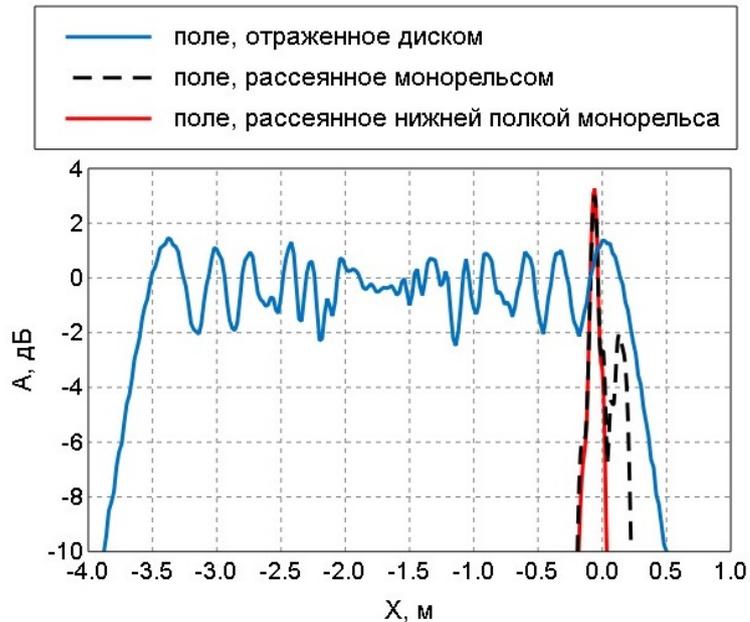


Рисунок 7 – Распределение поля вблизи монорельса тали в сечении, перпендикулярном направлению тельфера и оси БЭК, в зависимости от расстояния от оси БЭК. Синяя линия – падающее на монорельс поле от диска, зеленая линия – рассеянное двутавром поле, красная линия – рассеянное нижней полкой монорельса поле

Из-за крена диска максимум поля смещен в области отрицательных значений по оси x , которая перпендикулярна оси камеры и расположена горизонтально. Величина этого максимума одинакова на

обоих рисунках, и на нее нормирована вся картина распределения поля. Но отличие заключается в наличии на рисунке 6а) второго максимума в распределении поля в области положительных значений оси x . Это и есть отражение от двухгранного уголка. На рисунке 7 представлены графики зависимостей амплитуды отраженного от диска поля и полей, рассеянных монорельсом тали или его нижней полкой, от поперечной координаты вблизи монорельса тали (6 м над центром рабочей зоны).

В третьей части задачи поле, рассеянное монорельсом (или его частью), использовалось в качестве источника излучения. Рассматривалось отражение от диска, стоящего в той же позиции, что и в первой задаче. Отраженное от диска поле рассчитывалось методом ФО в направлении источника падающей волны (т.е. та часть, которая может вернуться обратно в коллиматор).

Результаты расчетов следующие: бистатическая ЭПР диска при использовании в качестве источника излучения поле, рассеянное монорельсом, составляет $19,7 \text{ дБм}^2$, при использовании в качестве источника излучения поле, рассеянное нижней полкой монорельса, составляет $8,7 \text{ дБм}^2$. Данная бистатическая ЭПР будет измеряться одновременно с моностатической ЭПР диска, установленного в рассматриваемое положение по углу места и крена.

Таким образом, обе этих бистатические ЭПР существенно выше, чем ЭПР диска при данном позиционировании ($-18,9 \text{ дБм}^2$). При этом влияние двухгранного уголка в верхней части швеллера монорельса тали оказывается больше, чем влияние рассеяния нижней полкой монорельса. Это означает, что при наклоне по крену протяженных объектов взаимодействие с тельфером увеличивается.

Однако такое большое суммарное влияние на точность измерений ЭПР диска проявляется только в очень узком секторе углов крена и практически при одном угле места, близком к 45 градусам. На реальных объектах области, которые могут так неудачно провзаимодействовать с монорельсом тали, наблюдаются в редких случаях.

Схема покрытия монорельса тали

Исходя из результатов расчетов ясно, что покрытие необходимо устанавливать и на нижнюю полку двутавра, и на обращенные вниз части верхней полки двутавра.

Покрытие устанавливается над рабочей зоной, потому что только тут может происходить взаимодействие с объектом. Взаимодействие с любыми другими частями БЭК или слабы, или не могут влиять на результаты измерений (т.е. сигнал не может вернуться обратно в коллиматор). Соответственно, покрывается часть монорельса длиной 10 м, середина зоны покрытия находится непосредственно над центром рабочей зоны АИК-КП. Схема покрытия представлена на рисунке 8.

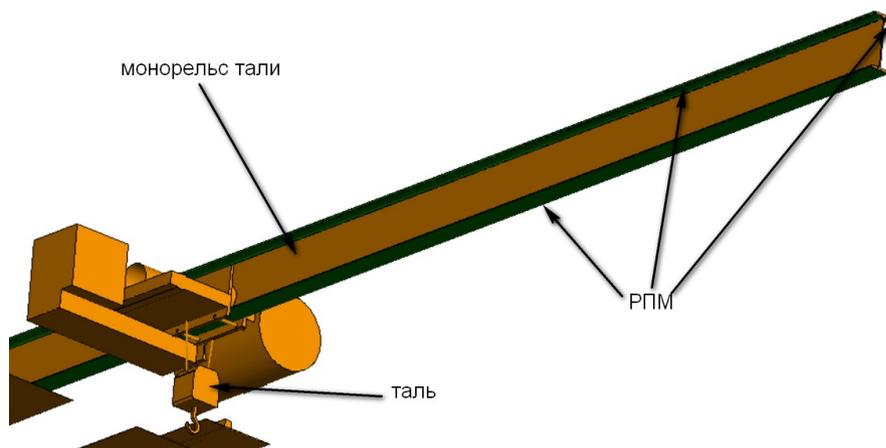


Рисунок 8 – Эскиз схемы покрытия монорельса тельфера

Сформулируем требования к покрытию.

- Широкополосное покрытие, диапазон частот: $1 - 40 \text{ ГГц}$ с оптимизацией в диапазоне $2,6 - 18 \text{ ГГц}$,
- Характерные углы падения волны на материал от 0 до 30° .
- Максимальная толщина покрытия не превосходит 25 мм .

Первое требование возникает из диапазона рабочих частот АИК-КП. Для диапазона частот ниже $2,6 \text{ ГГц}$ ширина монорельса тельфера слишком мала, чтобы оказывать значимое влияние. Для

диапазона частот 26 – 40 ГГц взаимодействие может быть довольно сильным. Но на этих частотах рассеянные волны быстрее затухают.

Второе требование вытекает из геометрии АИК-КП и монорельса, в нем установленного. Влияние взаимодействия объекта с монорельсом тельфера на результаты измерения диаграммы обратного рассеяния возможно только при углах, близких к нормали.

Третье требование возникает из конструкции тельфера: зазор между нижней полкой монорельса и перекладиной тельфера составляет 30 мм.

Данным требованиям удовлетворяет РПП РАН-57. Согласно ТУ 22.29.29.190-093-29012159-2021, оно имеет следующие характеристики: на частотах от 4 до 10 ГГц коэффициент отражения не более минус 10 дБ, от 10 до 15 ГГц коэффициент отражения не более минус 13 дБ. Данное покрытие может быть изготовлено в виде отдельных листов на подложке для установки с помощью клея на монорельс тельфера.

5. Заключение

В работе проведена оценка влияния взаимодействия объекта, установленного в рабочую зону компактного полигона для проведения измерений его характеристик рассеяния, с монорельсом тали.

Выявлено значительное влияние взаимодействия объекта с монорельсом тали при измерении его ЭПР для некоторых возможных положений объекта. Взаимодействие может происходить как с нижней полкой монорельса, так и с двугранным углом, образованным верхней полкой и вертикальной частью швеллера монорельса. Т.к. такое влияние может наблюдаться в очень ограниченном секторе углов позиционирования объекта, то данный эффект может проявляться в измерениях ЭПР объектов только в очень редких и специфических случаях.

Разработана схема покрытия монорельса РПП РАН-57, которое эффективно снижает описанное взаимодействие в диапазоне частот от 2,6 до 18 ГГц.

Список литературы

- [1] Компактные полигоны для измерений характеристик рассеяния объектов / Балабуха Н.П., Зубов А.С., Солосин В.С. – М.: Наука, 2007. 266 с.
- [2] Radar cross section / Knott E.F., Shaeffer J.F., Tuley M.T. Boston: SciTech Publishing, 1993, second edition, 477 p.
- [3] Johnson R.C., Ecker H.A., Moore R.A. Compact range techniques and measurements // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1969, V.17, N.5, pp. 568-576. doi:[10.1109/TAP.1969.1139517](https://doi.org/10.1109/TAP.1969.1139517).
- [4] Lee T, Burnside W.D. Performance Trade-Off Between Serrated Edge and Blended Rolled Edge Compact Range Reflectors // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1996, V.44, N.1, pp. 87-96. doi:[10.1109/8.477532](https://doi.org/10.1109/8.477532).
- [5] Gupta I.J, Ericksen K.P., Burnside W.D. A Method to Design Blended Rolled Edges for Compact Range Reflectors // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1990. V. 38, No. 6, pp. 853-861. doi:[10.1109/8.55582](https://doi.org/10.1109/8.55582).
- [6] Fasold D. Measurement Performance of Basic compact Range Concepts // AMTA Europe Symposium 2006, Munich, May 1-4, 2006 Germany.
- [7] Aubin J, Winebrand M. Side Wall Diffraction & Optimal Back Wall Design in Elongated Chambers for Far-Field Antenna Measurements at VHF/UHF Frequencies // Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2010.
- [8] Balabukha N.P., Menshikh N.L., Shapkina N.E. Influence of the Interaction of an Object with a Support on the Accuracy of RCS Measurement of Reference Reflectors // 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW), pp. 35-38. doi:[10.1109/RSEMW52378.2021.9494071](https://doi.org/10.1109/RSEMW52378.2021.9494071).
- [9] Balabukha, N.P., Evstafev E.E., Menshikh, N.L., Shapkina N.E. Analysis of the influence of the protective plate on the interaction of the support and the target under study by the method of mathematical modeling // Proceedings - 2022 IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC), pp. 297 – 300. doi:[10.1109/RMC55984.2022.10079274](https://doi.org/10.1109/RMC55984.2022.10079274).
- [10] Радиолокационные отражатели / Кобак В. О. М.: Советское радио, 1975. 212 с.
- [11] Цифровые фильтры / Хемминг Р.В. М.: Советское радио, 1980. 224 с.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE INTERACTION OF AN OBJECT WITH A MONORAIL HOIST ON THE RESULTS OF MEASUREMENTS OF ITS RCS

N.P. Balabukha¹, A.S. Zubov¹, N.L. Menshikh^{*1}, V.S. Solosin¹

¹ Institute for Theoretical and Applied Electromagnetics of RAS, Moscow, Russia

* nl_menshikh@itae.ru

Abstract

The paper presents an assessment of the influence of the interaction of the measurement object with the hoist monorail during experimental studies of the scattering characteristics of objects in, as example, the Automated measuring complex - a compact range of ITAE RAS. The hoist monorail is used to install measurement objects on positioners, as well as to install the positioners themselves, and therefore passes directly above the quiet zone of the measuring complex. Model problems for measuring the scattering characteristics of an ideally conducting disk are considered, which clearly show that the signal from interaction with a monorail can exceed the measured signal from the object itself. The problems were solved in the optical approximation. To assess some of the design features of the monorail, the scattered field of the monorail was calculated using the method of integral equations. It was revealed that the results of measuring scattering characteristics can be influenced not only by re-reflections between the object and the bottom flange of the monorail, but also by re-reflections associated with the presence of a dihedral corner formed by the upper part of the channel and its vertical wall. A scheme for covering the monorail with a broadband radio-absorbing coating has been proposed to reduce this influence on the measurement results. The proposed scheme was implemented for the measuring complex under consideration.

Key words: compact range, interference signals, anechoic chamber, radar cross section, physical optics method
