

Анализ спектральным методом рассеяния сигнала от крылатой ракеты и истребителя в VHF-диапазоне

Представлены результаты численного расчета характеристик рассеяния крылатой ракеты и истребителя. Рассматриваются огибающие радиоимпульсов и зависимости эффективной площади рассеяния радиолокационных целей от частоты и направления наблюдения. Используется спектральный метод и метод моментов.

Ключевые слова: Рассеяние, радиоимпульс, тонко-проволочная модель, интегральное уравнение тока, преобразование Фурье.

В связи с активной разработкой в последние несколько лет в СНГ радиолокационных станций VHF-диапазона, знать характеристики рассеяния крылатых ракет и истребителей в этом диапазоне актуально [1]. Крылатая ракета — беспилотный летательный аппарат однократного запуска, траектория полёта которого определяется аэродинамической подъёмной силой крыла, тягой двигателя и силой тяжести [2]. Изменение спектра и формы огибающей широкополосного сигнала при его рассеянии радиолокационным объектом (РЛО) может быть использовано для распознавания этого объекта. Подобная задача в известных работах решается с использованием уравнений Максвелла в пространственно-временной форме записи [3,4]. При этом используется метод конечных разностей во временной области (КРВО). Возбуждающе воздействие задается в виде сверхкороткого видеоимпульса, в котором максимум энергии сигнала расположен вблизи нулевой частоты. Так решается задача рассеяния в известных программах FEKO, CST [5]. В диапазоне частот работы реального радиолокатора максимум энергии сигнала расположен на заданной несущей частоте f_n . Необходимо знать признаки в рассеянном сигнале с частотой f_n . В настоящей работе используются метод интегральных уравнений и спектральный метод [6-8], который иллюстрируется на задаче рассеяния широкополосного сигнала тонко-проволочной моделью крылатой ракеты AIM-120 AMRAAM в программе CSC [6-8] и цельнометаллической моделью истребителя F-16 Fighting Falcon в программе CST. Модель истребителя описана криволинейными поверхностями. При использовании радиоимпульса можно получить решение задачи, более информативное по признакам распознавания и по критерию использования энергии зондирующего импульса, по сравнению со случаем применения видеоимпульса. Расчет численным методом характеристик рассеяния РЛО позволил расширить приложение теории рассеяния на объекты произвольных форм. Имеется ряд неизученных вопросов, которые частично анализируются в статье.

Параметры расчета

На рис. 1а показана сферическая система координат, схематически изображены модели ракеты AIM-120 AMRAAM (рис. 1б) и истребителя F-16 Fighting Falcon (рис. 1в). Модель ракеты была создана в среде с открытым кодом GMSH и импортирована в

разработанную автором статьи на основе алгоритмов [6-8] программу CSC. Рассеянное электрическое поле было рассчитано в программе CST и экспортировано в программу CSC. Длина ракеты на рис. 1б – $L_R = 3.3$ м, расстояние между крыльями и стабилизаторами $L_S = 1.6$ м, размах крыльев $L_K = 0.45$ м. Длина истребителя на рис. 1в – $L_I = 14$ м, размах крыльев $L_K = 10$ м. Падающая волна распространяется в плоскости XY: $\theta = 90^\circ$, $\varphi = [0^\circ - 180^\circ]$. Рассчитывалась однопозиционная диаграмма рассеяния (диаграмма обратного рассеяния – ДОР[9]). При горизонтальной поляризации ЭМВ вектор поляризации лежит в пл. XY, при вертикальной перпендикулярен пл. XY. Аббревиатурами HH, HV, VV, VH обозначены случаи: HH – излучается и принимается ЭМВ с горизонтальной поляризацией; HV – излучается ЭМВ с горизонтальной поляризацией, принимается с вертикальной; VV – излучается и принимается ЭМВ с вертикальной поляризацией; VH – излучается ЭМВ с вертикальной поляризацией, принимается с горизонтальной. Рассеянный сигнал в пространственной области обозначается символом $U(Z)$ [дБ], где $Z = 0.5ct$ [м] – координата, вдоль которой распространяется ЭМВ, c – скорость света. Представление сигнала в пространственной области это дальномерный портрет РЛО.

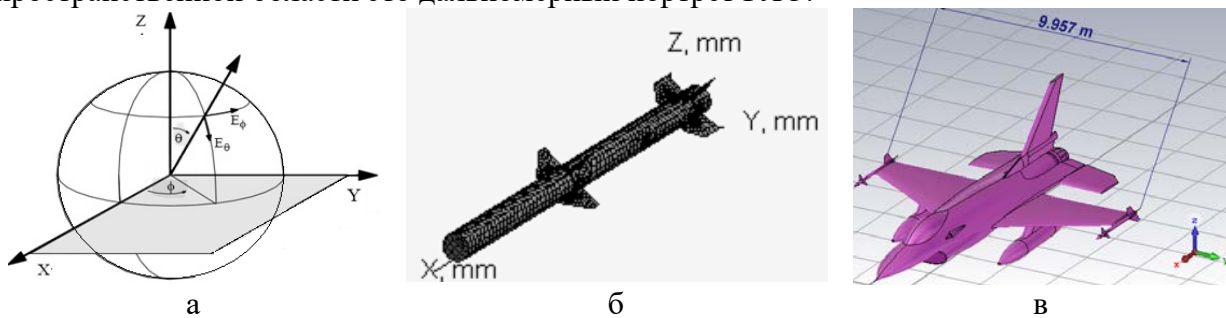


Рис. 1. Сферическая система координат (а), модели ракеты (б) и истребителя (в)

Диаграммы обратного рассеяния

На рис. 2 - 4 изображены ДОР крылатой ракеты AIM-120 AMRAAM (а, в) и истребителя F-16 Fighting Falcon (б, г).

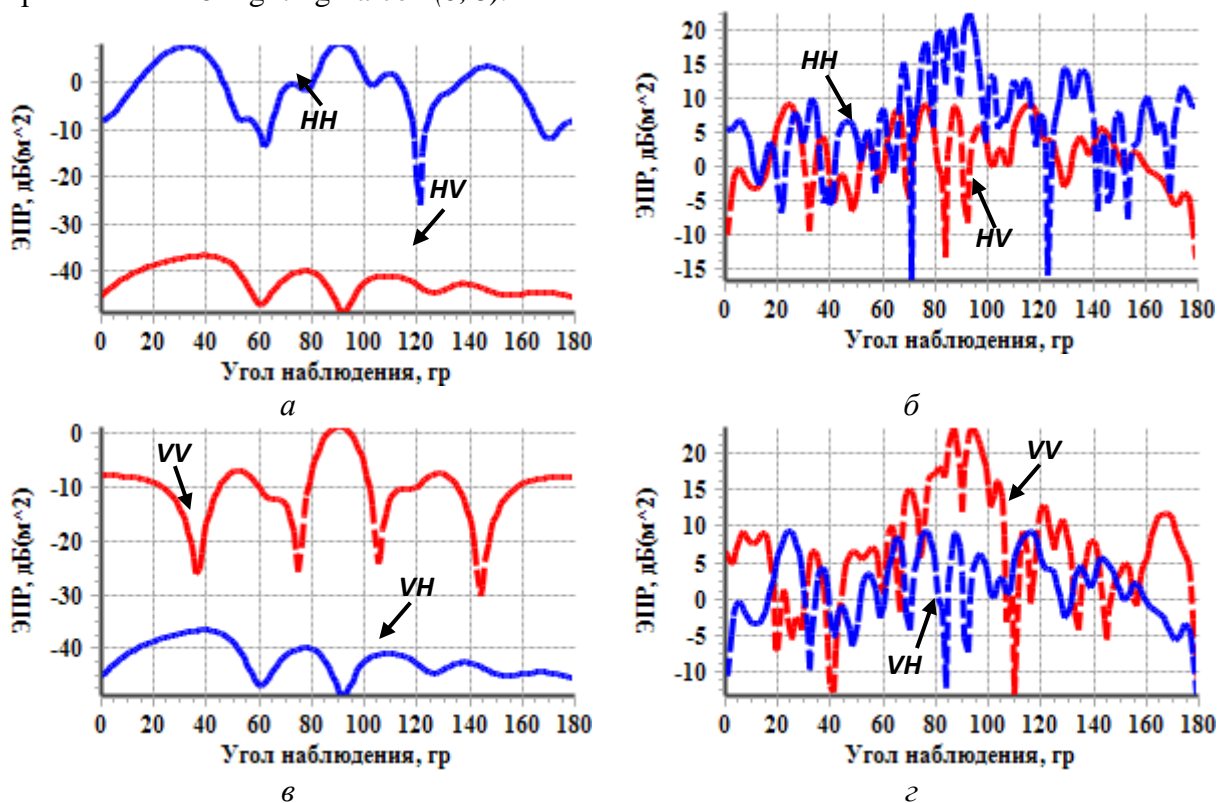


Рис. 2. ДОР на частоте f_0 , равной 170 МГц

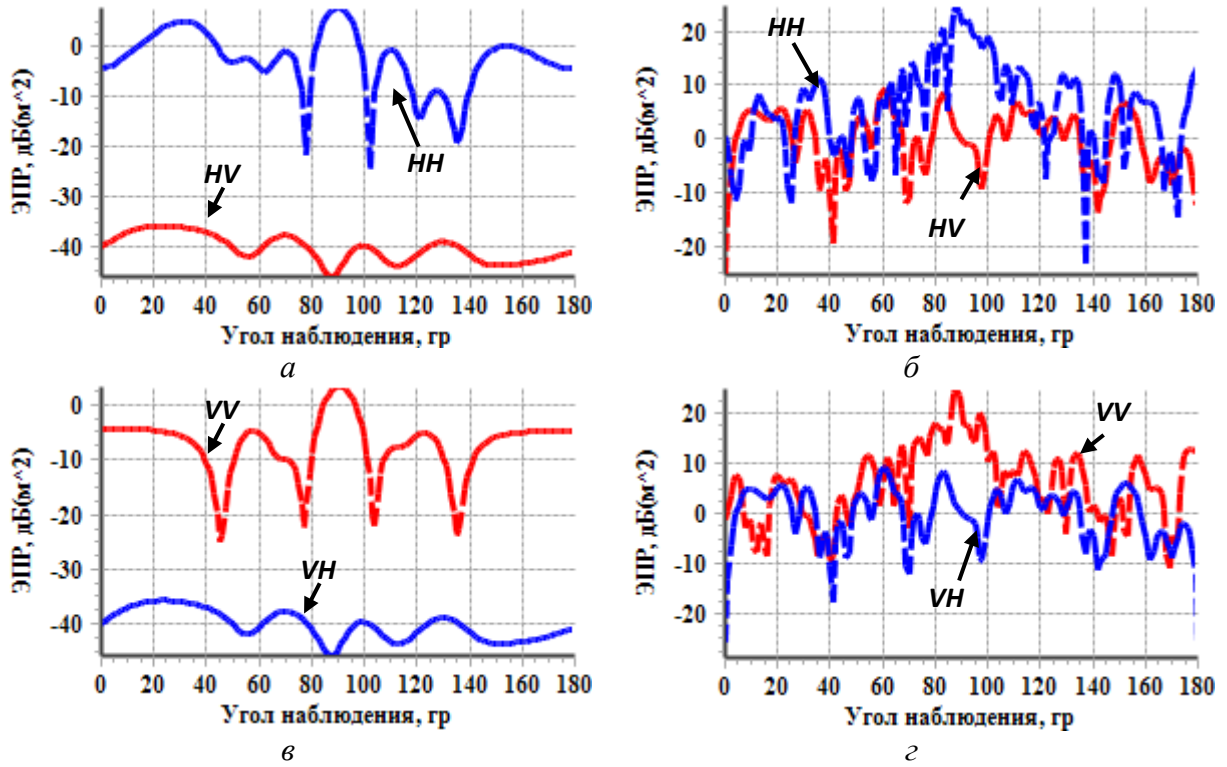


Рис. 3. ДОР на частоте f_0 , равной 195 МГц

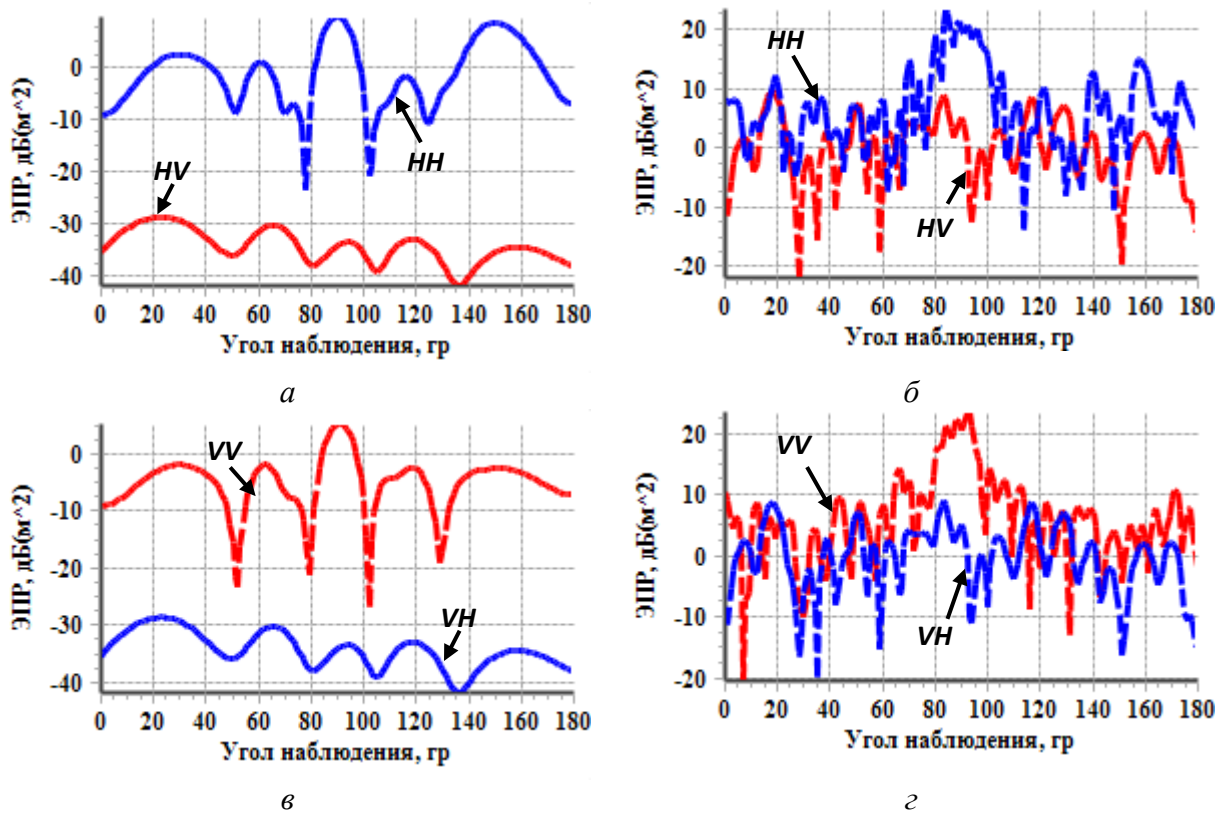


Рис. 4. ДОР на частоте f_0 , равной 220 МГц

Из рис. 2 - 4 видно, что чем больше длин волн укладывается на длине объекта, тем больше количество лепестков на ДОР: количество лепестков ДОР истребителя значительно больше, чем на ДОР ракеты.

В таблице 1 приведены средние значения ЭПР ракеты и истребителя для диапазона углов $\theta=90^\circ$, $\varphi=[0^\circ-180^\circ]$. Среднее значение ЭПР истребителя, значительно больше, чем ракеты.

Таблица 1. Средняя ЭПР в зависимости от частоты

ЭПР цели/ Частота	<ЭПР _{НН} >		<ЭПР _{VV} >		<ЭПР _{VH} >	
	Ракета	Истребитель	Ракета	Истребитель	Ракета	Истребитель
170МГц	1.61 м ²	14.49 м ²	0.178 м ²	19.31 м ²	7.71e-5 м ²	2.33 м ²
195МГц	1.05 м ²	18.88 м ²	0.339 м ²	16.02 м ²	11.4 e-5 м ²	1.77 м ²
220МГц	1.75 м ²	15.66 м ²	0.498 м ²	15.68 м ²	47.6 e-5 м ²	1.73 м ²

Зависимость ЭПР от частоты

На рис. 5 представлены зависимости ЭПР от частоты ракеты AIM-120 AMRAAM (рис. 5а) и истребителя F-16 Fighting Falcon (рис. 5б).

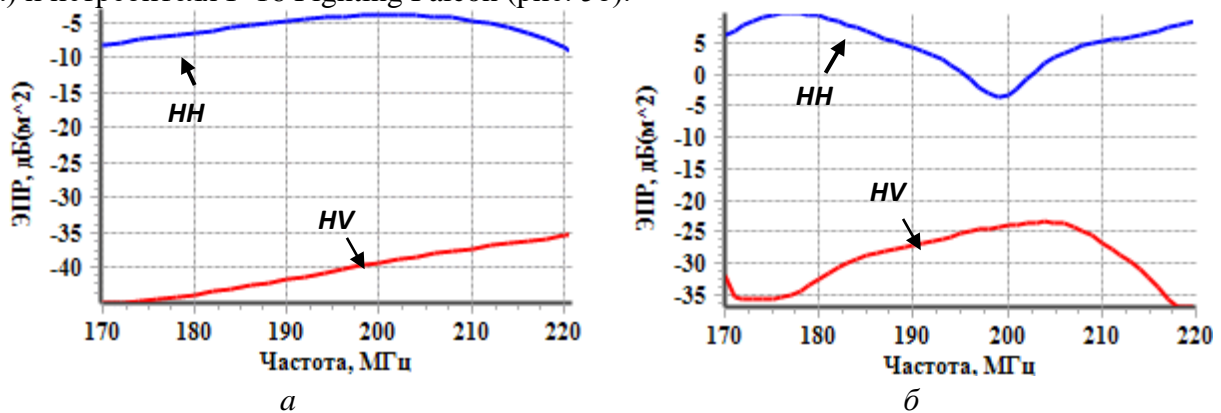


Рис. 5. $\theta=90^\circ$, $\varphi=0^\circ$

Как видно из рис. 5, частотная характеристика (ЧХ) ракеты имеет нерезонансный характер в анализируемом диапазоне частот, а ЧХ истребителя – резонансный. Данный признак может быть использован для распознавания классов радиолокационных объектов (РЛО).

Расчет характеристик рассеяния во временной области

На рисунках 6-7 представлены ОРР от ракеты AIM-120 AMRAAM (рис. 6а, 7а) и истребителя F-16 Fighting Falcon (рис. 6б, 7б). Длительность зондирующего радиосигнала $\tau_c=10$ нс, $f_H=195$ МГц.

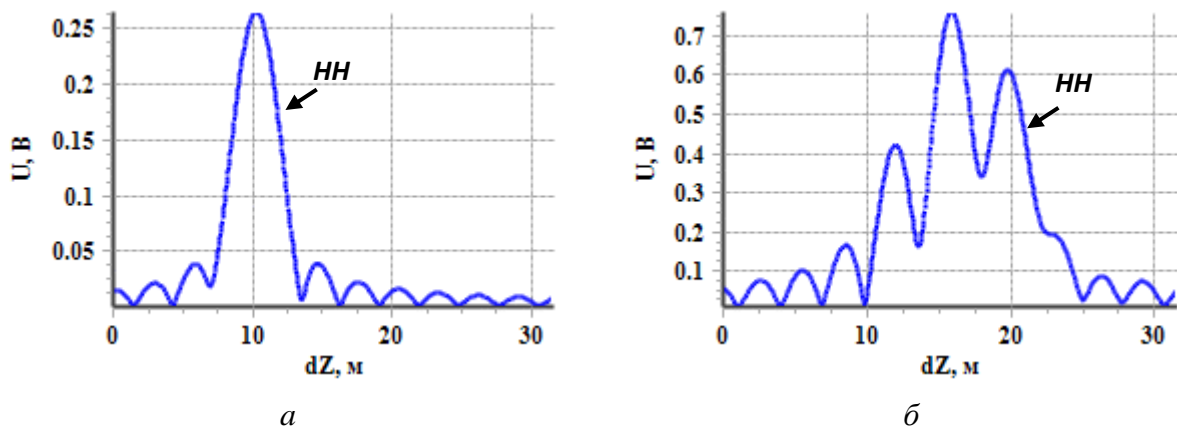


Рис. 6. $\theta=90^\circ$, $\varphi=0^\circ$, НН

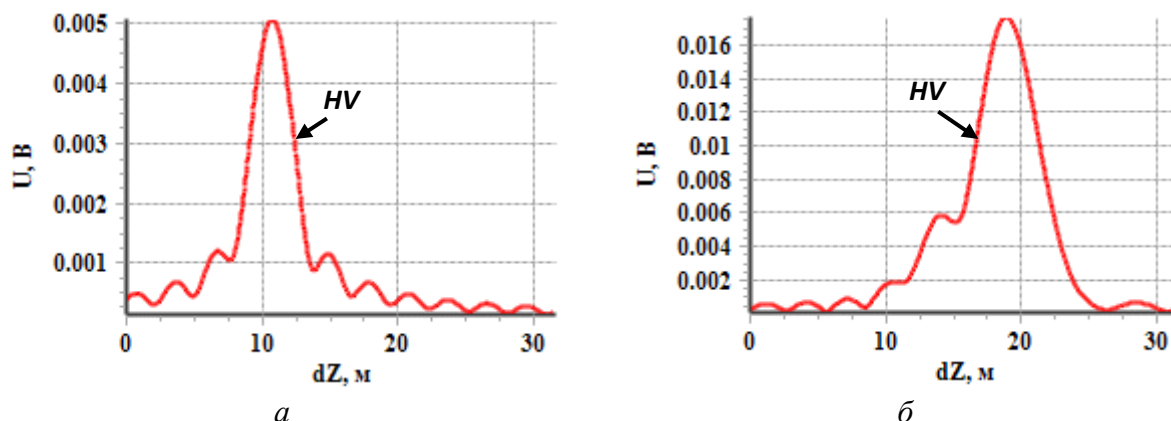


Рис. 7. $\theta=90^\circ$, $\varphi=0^\circ$, HV

Для расчета по методике [6-8] огибающих рассеянных радиосигналов (ОРР) от ракеты AIM-120 AMRAAM, использовалось рассеянное комплексное электрическое поле $\vec{E}(\theta, \varphi, f, R)$, (f – частота, R – расстояние) полученное в программе CSC. Для расчета ОРР от истребителя F-16 Fighting Falcon использовалось $\vec{E}(\theta, \varphi, f, R)$, полученное в программе CST, которое было экспортировано в программу CSC. В программе CSC, по $\vec{E}(\theta, \varphi, f, R)$ из программы CST, были рассчитаны ОРР. Расчет ОРР в программе CST требует написания дополнительной математики [6-8] на встроенном в CST языке макросов VBA, которая реализована в программе CSC на языке C++.

Как видно из рис. 6-7, ОРР от ракеты существенно отличаются от ОРР от истребителя, как по уровню, так и по форме. Рассмотренный признак можно использовать для распознавания классов РЛО.

Заключение

В статье приведены характеристики рассеяния ракеты AIM-120 AMRAAM и истребителя F-16 Fighting Falcon. Показано, что ДОР, ЧХ и ОРР ракеты и истребителя существенно отличаются. Данные характеристики можно использовать для решения задачи распознавания и создания базы данных классов РЛО.

Библиографический список

1. ОАО «КБ Радар» – управляющая компания холдинга «Системы радиолокации» // Официальный сайт ОАО «КБ Радар» – управляющая компания холдинга «Системы радиолокации» [Электронный ресурс]. 2006. – Режим доступа: <http://www.kbradar.by> – Дата доступа: 21.03.2018.
2. Крылатая ракета // «К-22» – Линейный крейсер / [под общ. Н. В. Огаркова]. — М.: Военное изд-во М-ва обороны СССР, 1979. — (Советская военная энциклопедия: [в 8 т.] ; 1976—1980, т. 4).
3. Time-Domain method for microwave structures. Analysis and Design / Ed. by Tatsuo Itoh. // IEEE Press., 1998. 517 p.
4. Митра, Р. Вычислительные методы в электродинамике. М. Мир, 1977. 487 с..
5. Банков, С.Е. Курушин, А.А. Расчет излучающих структур с помощью FEKO. М.: ЗАО «НПП «Родник», 2008. 246 с.
6. Юрцев, О.А. Сухачевский, П.В. Кеда, В.В. Рассеяние радиоимпульса линейным диполем // Матер. III Всерос. науч.-техн. конф. «Электроника и микроэлектроника СВЧ». Санкт-Петербург, 2-5 июня 2014 г. С. 252.
7. Сухачевский, П.В. Численный анализ рассеяния от антенн и радиолокационных объектов /П.В. Сухачевский// ДОКЛАДЫ БГУИР. – 2018. – №1(111). – С. 65-71.
8. Сухачевский, П.В. Рассеяние широкополосного сигнала объектом радиолокации / Сб. трудов X Всерос. конф. «Радиолокация и радиосвязь». Москва, 21-23 ноября 2016 г. С. 293 – 297
9. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография/О.И Сухаревский [и др.] // Харьков: ХУПС, 2009. – 468 с.