УДК 621.396.677

Д.И.Вельмискин, *к. т. н.,* **В.В.Куксенко, Т.В.Сиротенко**
Одесский государственный экологический университет

ВЛИЯНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИ - НЕОДНОРОДНЫХ ГИДРООБРАЗОВАНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ УКРЫТИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕННЫ МРЛ

Предлагается модель и алгоритм расчета характеристик излучения системы антенна - радиопрозрачное укрытие со случайными гидрообразованиями.
Ключевые слова: *гидрообразования, укрытие, диаграмма направленности антенны.*

Вступление. Скопление гидрообразований на поверхности укрытия зависит от ряда случайных факторов, таких как температура, влажность окружающей среды, силы и направления ветра. Толщина слоя осадков, их электрические параметры практически всегда являются случайными функциями координат точек поверхности укрытия. Поэтому становится актуальной проблема анализа влияния случайных гидрообразований на поверхности радиопрозрачного укрытия (РПУ) на характеристики антенны.

Материалы и методы исследований. Результаты имеющихся работ по общим вопросам электродинамического расчета укрытий [1–6], посвящённые расчету влияния укрытий на поле излучаемой антенны, непосредственно использовать для решения этой проблемы невозможно. Это связано с тем, что в большинстве этих работ материал оболочки укрытия предполагается электродинамически однородным как по толщине, так и вдоль образующего укрытия. Однако, на поверхности укрытия практически всегда имеются различные осадки, распределенные по случайным законам. Вопросы влияния случайных осадков на поверхности укрытия на характеристики излучения антенны не исследованы.

Пусть в свободном пространстве ($\varepsilon_0 = \mu_0 = 1$) расположен радиопрозрачный слой со случайными геометрическими и диэлектрическими параметрами. Это значит, что случайные поверхности S_1 и S_2 отделяют слой G (рис. 1) соответственно от области G_1 с источниками гармонического во времени $(\sim exp(j\omega t))$, вообще случайного электромагнитного поля и области G_2, в которой источники отсутствуют. Диэлектрическая $\varepsilon(x)$ и магнитная $\mu(x)$ проницаемости материала слоя — также случайные функции радиуса-вектора точек пространства x. По данным статистическим характеристикам слоя требуется найти статистические характеристики возмущенного слоем поля.

Решение поставленной задачи будем проводить в следующем порядке.

Найдем вначале поле излучения системы антенна - РПУ для случая, когда на поверхности РПУ находится радиопрозрачный слой некоторой конечной толщины, не превышающей максимальную толщину слоя со случайно изменяющимися диэлектрическими и (или) геометрическими параметрами [8, 9].

Затем известными методами математической статистики определим статистические характеристики поля излучения системы антенна — РПУ для случая, когда на поверхности последнего находится слой осадков со случайно изменяющимися параметрами. Для этого введем в каждой реализации слоя криволинейные координаты (σ,ν) и параметры δ и ν_0, являющиеся соответственно максимальной толщиной слоя и минимальным размером неоднородностей этой реализации слоя и падающей волны. Будем рассматривать слои (и волны), параметры которых достаточно плавно меняются в касательных к S_1 направлениях, т. е., например, слои, у которых радиус корреляции неоднородностей (по σ) велик по сравнению с длиной волны и максимальной толщиной слоя.

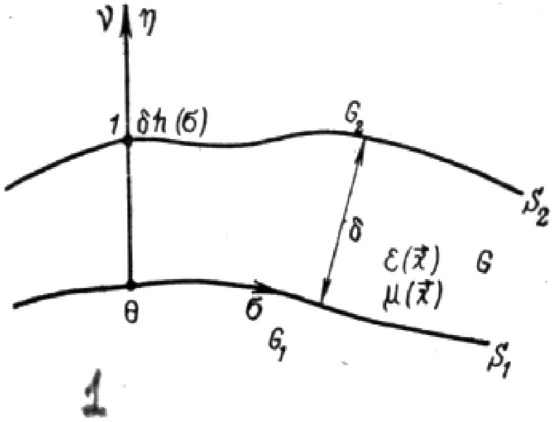

Рисунок 1 - Радиопрозрачный слой со случайными параметрами

В ансамбле слоев поля *E, H* — случайные функции координат точек пространства *x* и безразмерных (вообще говоря, случайных) физических и геометрических параметров слоя (и падающей волны): толщины $h(x)$, диэлектрической проницаемости $\varepsilon(x)$ и т. д.

Пусть вектор-функция $y(x)=\{y_i\ (x)\}(i=1,2,...,P)$ характеризует совокупность P этих случайных параметров $y_i(x)$. Тогда $U_P^{(mn)} = U_P^{(mn)}(x, y(x))$; $V_P^{(mn)} = V_P^{(mn)}(x, y(x))$. Если найдены зависимости $U_P^{(mn)}$, $V_P^{(mn)} = V_P^{(mn)}(x, y(x))$ и заданы статистические характеристики конструктивных параметров, т. е. статистика вектора-функции $Y(x)$, то с помощью различных методов могут быть найдены и статистические характеристики $U_P^{(mn)}(x)$, $V_P^{(mn)}(x)$, а стало быть, и характеристики поля в слое $U(x),V(x)$ или рассеянных слоем полей.

Рассмотрим кратко некоторые методы определения статистических характеристик поля на выходе слоя по заданной статистике его конструктивных параметров. Комплексные амплитуды U и V тангенциальных к S_1 составляющих поля в точке x_2 внешней поверхности S_2 слоя G_2 зависят, в частности, от случайного вектора параметров слоя в этой точке $y(x_2)$, т. е. являются функциями не только радиуса-вектора x_2 рассматриваемой точки, но и случайного аргумента y. Поэтому для расчета статистических характеристик поля могут быть использованы все возможные методы нахождения статистических характеристик функций случайного аргумента

$$U = U(x_2,y),\ V = V(x_2,y)\ .$$

Пусть, например, на основании экспериментальных данных или каких-либо модельных предположений мы знаем законы распределения флуктуации конструктивных параметров и, кроме того, располагаем некоторым алгоритмом нахождения поля. Тогда статистические характеристики поля могут быть вычислены непосредственно по распределениям вероятностей случайного аргумента с помощью известных [11,12] формул для характеристики функций случайного аргумента.

Так, например, средние значения тангенциальных составляющих поля U и V

могут быть вычислены по формулам (чертой сверху будем обозначать усреднение по ансамблю слоев)

$$\overline{U(x_2)} = \int_{-\infty}^{\infty} U(x_2, y) W(y) dy\,,$$

$$\overline{V(x_2)} = \int_{-\infty}^{\infty} V(x_2, y) W(y) dy, \qquad (1)$$

где $\int_{-\infty}^{\infty} dy = \int_{-\infty}^{\infty} .... \int_{-\infty}^{\infty} dy_i$ - многократное интегрирование по всем параметрам dy_i;

$W(y)$ – многократная плотность вероятности вектора $y(x_2)$.

Флуктуационные составляющие U и V, равные соответственно

$$\Delta U(x_2, y) = U(x_2, y) - \overline{U}(x_2)\,,$$

$$\Delta V(x_2, y) = V(x_2, y) - \overline{V}(x_2)\,,$$

имеют собственные и взаимные корреляционные функции

$$K_u(x_2, x_2') = \iint_{-\infty}^{\infty} \Delta U(x_2, y) \Delta U^*(x_2', y') W_2(y, y') dy dy',$$

$$K_\upsilon(x_2, x_2') = \iint_{-\infty}^{\infty} \Delta V(x_2, y) \Delta V^*(x_2', y') W_2(y, y') dy dy', \qquad (2)$$

$$K_{u\upsilon}(x_2, x_2') = \iint_{-\infty}^{\infty} \Delta U(x_2, y) \Delta V^*(x_2', y') W_2(y, y') dy dy',$$

здесь $W_2(y,\ y')$ — совместный закон распределения векторов конструктивных параметров $y = (x_2)$ и $y' = y(x'_2)$.

Аналогичным образом могут быть вычислены и любые другие статистические характеристики поля. В частности, например, дисперсия флуктуации поля U в точке x_2 равна

$$\sigma_2^n = \iint_{-\infty}^{\infty} \left|\Delta U(x_2, y)\right|^2 W(y) dy. \qquad (3)$$

Таким образом, если известны плотности вероятности при любом выборе x_2 и $W_2(y,\ y')$ для любых точек x_2 и x'_2, а также зависимости векторов поля V и U от x_2 и y при произвольных значениях этих векторов, то вычисления основных статистических характеристик по формулам (1) - (3) сводятся к нахождению конкретных интегралов, для чего могут быть применены известные вычислительные методы (квадратурные и кубатурные формулы).

Основное достоинство метода прямого, непосредственного вычисления статистических характеристик — его универсальность, поскольку подобным образом можно вычислить практически любые статистические характеристики поля при произвольных законах распределения конструктивных параметров слоя и падающей волны. Однако вычисление даже простейших статистических характеристик с помощью формул типа (1) - (3) довольно громоздко и в большинстве случаев может быть проведено только с помощью быстродействующих ЭВМ путем численного интегрирования, т. е. при небольшом числе одновременно флуктуирующих параметров. Так, например, среднее значение модуля коэффициента прохождения тонкого однородного *($\varepsilon(x) = const$)* слоя, толщина которого в фиксированной точке x_2 подчинена нормальному закону со средним значением δh дисперсией σ_h^2 может быть вычислено по формуле

$$\left|\overline{T}\right| = \frac{1}{2\pi\sigma_n}\int_0^\infty \frac{\exp\left[-\dfrac{(\delta h - \overline{\delta h})^2}{2\sigma_h^2}\right]}{\sqrt{\cos^2(\delta h\gamma') + Y^2\sin^2(\delta h\gamma')}}, \tag{4}$$

где $\gamma' = 2\pi\sqrt{\varepsilon - \sin^2\theta}$.

Нетрудно видеть, что интеграл в формуле (4) в явном виде не берется. Поэтому вычисление значения коэффициента прохождения даже в этом, простейшем случае следует проводить численными методами. Следует отметить, что эти вычисления требуют довольно больших затрат машинного времени, особенно при «плотных» законах распределения вероятности (это связано с необходимостью частой дискретизации подынтегральной функции), а также при нахождении моментов высоких порядков или при наличии нескольких одновременно флуктуирующих параметров.

Вообще говоря, случайная величина δh, среднее значение которой обозначено $\overline{\delta h}$, не может быть распределена нормально, так как при этом существует вероятность появления реализаций с отрицательной толщиной. Если, однако, дисперсия δ_h^2 мала по сравнению с квадратом толщины слоя, то такой вероятностью можно пренебречь.

Может быть применен близкий по идее, но менее громоздкий в вычислительном отношении метод статистических оценок, заключающийся в расчете статистических характеристик поля волны, прошедшей через слой. Его можно реализовать двумя способами: во-первых, с помощью статистической обработки результатов непосредственных измерений флуктуирующих параметров и, во-вторых, посредством моделирования значений этих параметров по заданным законам их распределения.

Способ применения первого метода к исследованию и решению задачи о нахождении числовых характеристик флуктуации поля для реальных конструкций стенок РПУ рассмотрим вначале на простом примере нахождения основных статистических характеристик слоя, в котором случайным флуктуирующим параметром является только его толщина, т. е. функция $\delta h(\delta)$.

Пусть мы имеем ансамбль из N реализаций радиопрозрачных слоев. В каждой из этих реализаций толщина слоя δh (связана с фиксированной точкой x неслучайной поверхности S_1) — случайная величина.

Требуется найти среднее значение комплексного коэффициента прохождения T, дисперсии его модуля $|T|$ и фазы Φ, а также коэффициенты корреляции между флуктуациями модуля и фазы (в точках x, x'): $r_m(x, x')$, $r_\phi(x, x')$. Поступим следующим образом.

1.Проведем измерение толщины слоя δh_{mn} в каждой n-й реализации *($n = 1,2, ..., N$)* слоя в точках x_m *($m = 1,2, ..., M$)*. При этом мы получим случайный набор значений δh_{mn} .

2. Для каждой из точек x_m и каждой реализации слоя, т. е. по всем δh_{mn} с помощью известного алгоритма или формулы рассчитываем значения коэффициента прохождения T_{mn}, равные в n-й реализации слоя (его действительную и мнимую части или модуль $|T_{mn}|$ и фазу Φ_{mn}).
3. Для каждой из точек x_m находим статистические оценки значений «локальных» числовых характеристик (среднего значения, дисперсии и т. д.) коэффициента прохождения T в этой точке по известным формулам математической статистики. Например, оценка среднего значения модуля $|T|$ равна

$$\left|\overline{T}\right| = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\left|T_{mn}\right| \approx \overline{T(x_m)}, \tag{5}$$

а оценка его дисперсии

$$\sigma^2_{Tm} = \frac{1}{N-1}\sum_{n=1}^{N}\left|T_{mn}\right| - \left|\overline{T_m}\right|)^2. \tag{6}$$

4.Находим оценки характеристик, определяющих вероятностные связи между флуктуациями T в точках x_m и x_n. Например, коэффициенты корреляции флуктуации модуля и фазы коэффициента прохождения

$$r_{Tmk} = r_T\left(x_m, x_k\right) = \frac{1}{\left(N-1\right)\sigma_{Tm}\sigma_{Tk}}\sum_{n=1}^{N}\left(\left|T_{mn}\right| - \left|\overline{T_m}\right|\right)\left(\left|T_{kn}\right| - \left|\overline{T_k}\right|\right), \tag{7}$$

$$r_{\Phi mk} = r_\Phi\left(x_m, x_k\right) = \frac{1}{\left(N-1\right)\sigma_{\Phi m}\sigma_{\Phi k}}\sum_{n=1}^{N}\left(\left|\Phi_{mn}\right| - \left|\overline{\Phi_m}\right|\right)\left(\left|\Phi_{kn}\right| - \left|\overline{\Phi_k}\right|\right). \tag{8}$$

Могут быть также построены гистограммы распределения $|T|$ и Φ, проверены гипотезы о законах их распределения, найдены границы доверительных интегралов для полученных оценок, гипотезы о принадлежности оценок одной генеральной совокупности для различных точек x_m т. е., по существу, гипотезы об эргодичности $T(x)$ или его стационарности.

Методика расчета в случае, когда флуктуирует не только толщина δh, но и другие конструктивные параметры слоя y_i , практически ничем не отличается от описанной выше, за исключением того, что в точках x_m каждой реализации слоя должны быть заданы или измерены уже не только толщина, но и все остальные флуктуирующие параметры y_i и расчет T_{mn} проводится при измеренных (заданных) в точке x_m и в n-й реализации значениях параметров слоя.

Одна из важных особенностей метода статистических оценок — полное использование всей содержащейся в эксперименте информации. Он не требует знания законов распределения флуктуирующих параметров или каких-либо других априорных предположений об их характере, а потому свободен от искажений, связанных с погрешностями аппроксимации реальных распределений известными функциями распределения. Это делает его наиболее удобным при оценке статистических характеристик конкретных образцов обтекателей, по которым уже имеется достаточно богатый экспериментальный материал.

Сказанное выше не исключает применения метода статистических оценок для теоретических исследований или при проектировании обтекателей. Отличие в методике получения оценок состоит лишь в том, что в этом последнем случае вместо экспериментально измеренных значений параметров y_{mn} используются их значения, полученные с помощью датчиков случайных чисел, подчиняющихся заданным законам распределения. Такое математическое моделирование слоя со случайными параметрами, эквивалентно вычислению интегралов в формулах типа (1) - (3) методом Монте-Карло. В случае, если флуктуации параметров слоя невелики, а количество флуктуирующих параметров два и более, применение метода Монте-Карло дает существенную экономию машинного времени по сравнению с вычислением интегралов в (1) - (3) с помощью детерминированных вычислительных алгоритмов.

Таким образом, метод статистических оценок — эффективный и достаточно универсальный способ нахождения статистических характеристик рассеянного слоем поля. Его применение свободно от каких-либо ограничений на характер флуктуации конструктивных параметров слоя, их величину, вид законов распределения и т. д. Некоторая сложность применения метода статистических оценок (статистических испытаний) заключается в необходимости большого количества однотипных расчетов при близких значениях параметров. Поэтому расчеты должны производиться на быстродействующих ЭВМ.

Основной недостаток этого метода – невозможность получения аналитических выражений статистических характеристик поля, что заметно снижает его ценность для качественных теоретических рассмотрений. В ряде случаев такие аналитические выражения для статистических характеристик функций $U(x_2,y)$, $V(x_2,y)$ или $T(x, y)$ могут быть получены методом их разложения по степеням малых флуктуации.

Дело в том, что, с одной стороны, флуктуации параметров слоя (и волны) y часто можно считать малыми. Например, почти всегда малыми являются флуктуации параметров допускового характера, т. е. флуктуации, обусловленные неточностями изготовления стенки обтекателя. Между тем именно вопросы допусков имеют чрезвычайно важное практическое значение. С другой стороны, малость флуктуации конструктивных параметров позволяет получить выражения для оценок статистических характеристик коэффициента прохождения или поля прошедшей волны. Это можно сделать, разложив соответствующие аналитические выражения для тангенциальных составляющих поля в степенные ряды следующим образом. Отклонения Δy_i всех параметров слоя y_i от их среднего значения малы (порядок малости Δy_i будет оговорен ниже). Тогда поле $U\ (x_2,\ y)$ на внешней поверхности каждой реализации слоя может быть записано в виде ряда в котором $\Delta y = y - \bar{y}$ — отклонение вектора конструктивных параметров в точке x_2 от его среднего значения y в этой точке может быть записано в виде ряда

$$U(x_2 y) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{\kappa} (\Delta y, \nabla)^k U(x_2, \bar{y}) = U(x_2 y) + \\ + \frac{\partial U(x_2, \bar{y})}{\partial y_1} \Delta y_1 + \frac{\partial U(x_2, \bar{y})}{\partial y_2} \Delta y_2 + \ldots. \tag{9}$$

Если флуктуации параметров слоя малы, так что в разложении (9) можно оставить только выписанные явно члены, соответствующие $k = 0;1$ и линейно зависящие от флуктуирующих параметров, то имеем простейшее, линеаризованное представление вектора U как функции Δy. В этом приближении среднее значение вектора U равно $U(x_2,y)$, а его дисперсия может быть найдена по формуле

$$\sigma_n^2(x_2) = \left|U - \overline{U}\right|^2 \approx \sum_{i=1}^{p} \sigma_i^2 \left|\frac{\partial U(x_2, \overline{y})}{\partial y_i}\right| + 2\,\mathrm{Re} \sum_{1 \le i < j}^{P} \sigma_i \sigma_j r_{ij} \left(\frac{\partial U(x_2, y)}{\partial y_i} - \frac{\partial U^*(x_2, \overline{y})}{\partial y_i}\right),$$

где σ_i^2, σ_j^2 — дисперсии y_i y_j;

r_{ij} — коэффициент корреляции между флуктуациями этих параметров.

Если принять более точную аппроксимацию поля с учетом трех или большего количества членов ряда (9), то можно получить и более точные выражения для статистических характеристик поля.

Так, например, если ограничиться k членами ряда, то среднее значение поля $U(x_2)$ окажется равным

$$\overline{U} = \sum_{\kappa=0}^{\kappa} \frac{1}{\kappa!} (\overline{\Delta y} \nabla)^k U(x_2, \overline{y}),$$

а дисперсия флуктуаций поля определяется по формуле

$$\sigma_n^2(x_2) \approx \sum_{k=0}^{k-1} \frac{1}{|k!|^2} \left|\overline{(\overline{\Delta y} \nabla) U(x_2, \overline{y}}\right|^2 + 2\,\mathrm{Re} \sum_{0 \le k < l}^{k-1} \frac{1}{k!\,l!} \left|\overline{(\overline{\Delta y} \nabla)^k \bigcup (x_2, \overline{y}) (\Delta y \nabla)^l \bigcup^* (x_2, \overline{y})}\right|.$$

Результаты исследования и их анализ. Конечная цель исследования влияния статистически неоднородных обтекателей на характеристики укрытых ими антенн — определение характеристик излучения системы, поскольку именно они определяют основные показатели качества системы антенна — обтекатель. В рассматриваемом нами случае задача практически эквивалентна следующей.

На поверхности S_2 (рис.1) возбуждено электромагнитное поле $E''H''$ тангенциальные (kS_2) составляющие которого U'', V'' - случайные функции координат x_2 точек этой поверхности. Поверхность S_2 в этом случае можно рассматривать как излучающую систему со случайно распределенными источниками. В силу этого статистические характеристики поля излучения системы будут зависеть от статистики распределения поля на поверхности S_2, вида этой поверхности и направления на точку наблюдения. Требуется по заданным статистическим характеристикам поля на поверхности S_2 определить статистические характеристики поля излучения системы.

Зависимость поля в дальней зоне, т. е. поля излучения от направления на точку наблюдения (характеристика направленности системы $f(\psi)$ определяется по заданному распределению поля падающей волны и коэффициенту прохождения по методике, изложенной в [7,10].

Поле излучения, в свою очередь, определяет важнейшие характеристики антенны: ее диаграмму направленности (ДН) и связанные с ней параметры, фазовую диаграмму, поляризационную диаграмму и т. д.

Изучение статистики поля излучения включает в себя определение средних характеристик: ДН, ее ширины, среднего коэффициент направленного действия (КНД) и др., а также флуктуационных характеристик: флуктуации положения главного максимума ДН и т. п. Вычисление указанных статистических характеристик можно проводить одним из следующих методов: непосредственным расчетом на ЭВМ (методом Монте-Карло) с предварительной дискретизацией раскрыва; методами характеристических функций, ортогональных разложений поля на S_1, обобщенных спектральных представлений и, наконец, методом малых возмущений. В качестве исходных соотношений при определении статистических характеристик поля излучения используются следующие формулы для ДН по мощности:

$$F(\overline{\psi}) = |f(\overline{\psi})|^2 = \left| \int_D U^0(x)(T(x))(P(x,\overline{\psi}))\exp(j\overline{\psi}x)dS \right|^2 .$$

Эта формула получена непосредственно из выражений, выведенных в [7,10] для вычисления поля излучения в дальней зоне. В ней применены следующие обозначения: Ψ — векторный обобщенный угол с проекциями

$$\psi_1 = \frac{\pi L_1}{\lambda}\sin\theta\cos\varphi; \quad \psi_2 = \frac{\pi L_2}{\lambda}\sin\theta\cos\varphi \ ,$$

где x – радиус-вектор точек освещенной части D внутренней поверхности S_1 РПУ в координатах;

$x_1 = 2\rho_1/L_1;\ x_2 = 2\rho_2/L_2;$

L_1, L_2 – характерные размеры освещенной области вдоль координат $O\rho_1, O\rho_2$;

θ, φ – углы полярной системы координат;

$U_0(x)$ – поле падающей волны;

$(T(x))$ – матрица коэффициента прохождения; $(P(x,\overline{\psi}))$;

$(P(x, \Psi))$ – характеристика направленности (матрица направленности) элементарного источника в соответствующей точке поверхности РПУ.

Используя данную модель системы антенна – укрытие и предложенный алгоритм, произведен расчет характеристик излучения при неравномерном обледенении укрытия слоем толщиной 30 мм.

Результаты расчета показывают, что радиопрозрачность укрытия уменьшается на 40%, а угловые ошибки достигают 60% от ширины ДН антенны.

Выводы. На основании предложенной модели и алгоритма произведен расчет характеристик излучения системы и сделан вывод о том, что гидрообразования существенно снижают характеристики МРЛ.

Рассмотрены методы вычисления статистических характеристик поля.

Основное достоинство метода непосредственного вычисления характеристик поля – универсальность, а недостаток – громоздкость.

Метод статистических оценок не требует знания законов распределения флюктуирующих параметров и позволяет полностью использовать информацию от эксперимента. Этот метод не позволяет получить аналитические выражения для характеристик поля. Несмотря на это он используется чаще всего и является эффективным методом вычисления характеристик поля.

Целью дальнейших исследований является разработка методов вычисления статистических характеристик излучения системы антенна-РПУ с различными видами осадков.

Список литературы

1. *Каплун В.А.* Обтекатели антенн СВЧ-М. : Сов.радио. - 1974. - с.315.

2. *Обтекатели антенн* / Пер. с англ. под ред. А.И. Шпунтова. – М.: Сов.радио. - 1950. - с. 250.

3. *Пригода Б.А., Кокунько В.С.* Обтекатели антенн летательных аппаратов – М.: Машиностроение. – 1970. - с. 380.

4. *Ямайкин В.Е., Ковалев В.Н., Маслов В.Г. и др.* Основы проектирования антенных устройств СВЧ, ч. 2. – Минск: изд. БГУ. – 1972. - с. 282.

5. *Сканирующие антенные* системы СВЧ /Пер. с анг. под ред. Г.Т. Маркова и А.Ф. Чаплина – М.: Сов. радио. – 1966. - с. 210.
6. *Walton J.D.* Radome Engineering Handbook. – N.Y. 1970, p. 180.
7. *Вельмискин Д.И.* Алгоритм расчета прохождения ЭМВ через стенку укрытия. Указ.информ.матер.: вып. 1 (4), серия А, 1987. Справка № 1814 .
8. *Вельмискин Д.И., Веркау О.В., Кочергина Ю.А.* Влияние отражений электромагнитной волны от стенки радиопрозрачного укрытия // Метеорологія, кліматологія та гідрологія.–2003.–Вип. 47. – с. 89-96.
9. *Вельмискин Д.И., Перелыгин Б.В., Августинский Е.К.* Устойчивая модель для расчета диаграммы направленности РЛС в системе антенна-радиопрозрачное укрытие // Сборник научных работ ОИСВ. – 2002. – Вып.7. – с.102-103.
10. *Сухаревский И.В.* О прохождении электромагнитной волны через радиопрозрачный слой. Радиотехника и электроника. Вып.12(2), 1967, с.12-14.
11. *Левин Б.Р.* Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике. – М.: Сов. радио. – 1957. - с. 380.
12. *Пугачев В.С.*Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Наука. – 1979. -с. 315.

Вплив статистично-неоднорідних гідроутворювань на поверхні укриття на характеристики антени МРЛ. Вельміскін Д.І., Куксенко В.В., Сиротенко Т.В.

Пропонується модель та алгоритм розрахунку характеристик випромінювання системи антена-радіопрозоре укриття з випадковими гідроутвореннями.
Ключові слова: *гідроутворення, укриття, діаграма направленості антени.*

Influence of statistically-heterogeneous hydroformations at the surface of shelter on behavior of antenna meteorological radars. D. Velmiskin , V. Kuksenko, T. Sirotenko

Propose a model and algorithm of calculation for system emission behavior antenna- radar dome with random hydroformation.
Keywords: *hydroformations, shelter,the diagram of an orientation of the aerial*