

8. Bigou K., Tisserand A. RNS modular multiplication through reduced base extensions. *25 Int. Conf. «Application specific systems, architectures and processors (ASSAP 2014)»*. Zurich, Switzerland, 18 – 20 June, 2014, IEEE, pp. 57-62. doi: 10.1109/ASAP.2014.6868631
9. Chervjakov N.I., Derjabin M.A., Lavrinenko I.N. Realizacija algoritma Montgomeri v sisteme ostatochnyh klassov na baze jeffektivnogo algoritma rasshirenija sistemy osnovanij [Implementation of Montgomery algorithm in the system of residual classes on the basis of an efficient algorithm for the expansion of the system bases]. *Nejro-komp'jutery: razrabotka, primenenie*, 2014, no 9, pp. 37-45.
10. *Parallel computer algebra and its application in the new info-communication systems*. Proceedings of The First International Conference, Stavropol, Russia, 20-24 October 2014, Fabula Publ., 2014. 568 p. (In Russian)
11. Koljada A.A., Chernjavskij A.F. Umnozhenie po bol'shim moduljam s ispol'zovaniem minimal'no izbytochnoj moduljarnoj shemy Montgomeri [Multiplication by a large module with minimal excess Montgomery modular scheme]. *Informatika*, 2010, no 3, pp. 31-48.
12. Chernjavskij A.F., Koljada A.A., Koljada N.A. i dr. Umnozhenie po bol'shim moduljam metodom Montgomeri s primeneniem minimal'no izbytochnoj moduljarnoj arifmetiki [Multiplication by high modulus Montgomery method using a minimum excess of modular arithmetic]. *Nejro-komp'jutery: razrabotka, primenenie*, 2010, no 9, Moskva, 2010, pp. 3-8.
13. Kalenik A.N., Koljada A.A., Koljada N.A., Chernjavskij A.F., Shabinskaja E.V. Umnozhenie i vozvedenie v stepen' po bol'shim moduljam s ispol'zovaniem minimal'no izbytochnoj moduljarnoj arifmetiki [The multiplication and exponentiation over large modules using the minimum excess modular arithmetic]. *Informacionnye tehnologii*, 2012, no 4, pp. 37-44.
14. Koljada A.A., Koljada N.A., Mazurenko P.A., Chernjavskij A.F., Shabinskaja E.V. Tablichno-summatornaja algoritmizacija minimal'no izbytochnoj moduljarnoj shemy Montgomeri dlja umnozhenija po bol'shim moduljam [Table-summation algorithmization minimally redundant modular circuit for Montgomery multiplication on a large modules]. *Nauka i voennaja bezopasnost'*, 2013, no 3, pp. 40-45.
15. Koljada A.A., Pak I.T. *Moduljarnye struktury konvejernoj obrabotki cifrovoj informacii* [Modular structure of the pipeline processing of the digital information]. Minsk, Universitetskoe, 1992. 256 p.
16. Koljada A.A., Chernjavskij A.F. Integral'no-harakteristicheskaja baza moduljarnyh sistem schislenija [Integrated-characteristic modular base number systems]. *Informatika*, 2013, no 1, pp. 106-119.
17. Koljada A.A., Chernjavskij A.F. Interval'no-indeksnyj metod chetnogo modulja dlja rascheta integral'nyh karakteristik koda neizbytochnoj MSS s simmetrichnym diapazonom [Interval-index method is even a module for the calculation of the integral characteristics of non-redundant MSN with a symmetrical range of code]. *Doklady NAN Belarusi*, 2013, vol. 57, no 1, pp. 38-45.
18. Kawamura S., Koike Masanobu, Sano Fumihiko, Shimbo Atsushi. Cox-Rower architecture for fast parallel Montgomery multiplication. *Eurocrypt 2000*, LNCS, vol. 1807, pp. 523-538. doi: 10.1007/3-540-45539-6\_37.

*Received 20.04.2016*

УДК 621.396.677; 621.397.671

## СУБЪЕКТИВНЫЕ ФАКТОРЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ АНТЕНН: АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

*Маслов О.Н., Шаталов И.С.*

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ  
E-mail: maslov@psati.ru*

Представлена проблема конвергенции объективной и субъективной теорий вероятностей с теорией случайных антенн (СА) для исследования СА методом статистического имитационного моделирования (СИМ). Рассмотрены перспективы применения СИМ-моделей при разработке систем активной защиты конфиденциальной информации от утечки во внешнюю среду через СА.

**Ключевые слова:** теория случайных антенн, объективная и субъективная теории вероятностей, проблема уменьшения неопределенности знаний, метод статистического имитационного моделирования, исследование случайных антенн.

## Введение

Онтологические принципы развития статистической теории антенн (СТА) в интересах расширения круга прикладных (инжиниринговых) задач, которые могут быть решены с ее помощью, рассмотрены в [1-2]. Под субъективными факторами (от лат. factor – «делающий, производящий») будем понимать обстоятельства, существенные для решения поставленной задачи, которые зависят от суждений лиц, принимающих решения (ЛПР) о том, что представляют собой объекты СТА. Напомним, что в настоящее время мощным и перспективным инструментом исследования объектов СТА (в том числе случайных антенн: как сосредоточенных, так и апертурных (далее АСА), а также случайных активных фазированных антенных решеток (далее САФАР) является метод статистического имитационного моделирования (СИМ) на базе компьютерной версии метода Монте-Карло (ММК) [3-5].

В рамках СИМ важнейшими стохастическими факторами СТА являются случайные ошибки (амплитудные, фазовые, временные, геометрические [6]), природа и свойства которых во многом определяют специфику решаемых задач. Соответственно, эффективность полученных решений зависит от точности и адекватности формализованного представления этих ошибок – что связано с неопределенностью (неполнотой, неточностью, недостоверностью) знаний ЛПР о них. В основу действий ЛПР, согласно [1], при этом могут быть положены экспертные, вероятностно-теоретические, вероятностно-статистические и статистические модели и методы, которые в совокупности образуют онтологическую модель ситуации (ОМС), где присутствуют техническая часть (связывающая СТА с общей теорией антенн) и организационная составляющая – обусловленная субъективными взглядами ЛПР на процессы функционирования АСА и САФАР. Напомним, что персональные (индивидуальные) онтологии основаны на личных знаниях ЛПР, групповые онтологии создаются путем договоренности между ними – в итоге ОМС формируют как объективные верифицированные знания, признаваемые всеми ЛПР, так и субъективные аксиологические знания (предзнания в виде убеждений, опыта и гипотез), остающиеся предметом дискуссий [1].

Способы преодоления неопределенности знаний исследует целый ряд современных научных теорий: шансов, риска, эффективности, ожидаемой полезности [7 и др.]. В СТА фундаментом

ОМС является проблема изучения стохастических факторов (объективных и субъективных) в виде ошибок, сопровождающих работу АСА, и САФАР – анализ и моделирование которых составляют цель настоящей статьи.

## Объективные и субъективные характеристики объектов СТА

Аксиоматику объективной теории вероятностей (ТВ) определил А.Н. Колмогоров в 20-е годы XX века: под случайностью понимается принципиально неустранимая неопределенность; стохастическую ситуацию характеризуют три признака: непредсказуемость (невозможность спрогнозировать ее исход с заданной точностью); воспроизводимость (имеется возможность повторять ситуацию  $N \gg 1$  раз в примерно одинаковых условиях) и устойчивость частот наблюдаемых событий (отношение к  $N$  числа случаев, когда событие имеет место, колеблется возле некоторого конечного числа, приближаясь к нему по мере увеличения  $N$ ) [8]. В историческом плане это соответствует развитию идеи П. Лапласа, который определил вероятность как «число благоприятных исходов некоторого события, отнесенное к числу всех возможных исходов».

Широко распространенный до настоящего времени объективный частотный подход также определяет вероятность как «предельное значение процента благоприятных исходов в бесконечной последовательности независимых испытаний» – но отсюда видно, во-первых, что вероятность невозможно вычислить точно, поскольку нельзя обеспечить ни бесконечно большую выборку однородных данных, ни вообще постоянное на бесконечности пространство возможных исходов любого события. Во-вторых, что объективная ТВ, призванная «работать» при исследовании и моделировании многократно повторяющихся событий, относящихся к хорошо структурированным объектам, требует осторожности в других случаях.

В качестве альтернативы данному подходу, развивая идею Я. Бернулли (который впервые отделил понятие вероятности от способа ее измерения и определил ее как «степень доверия» к исходу того или иного события), также в начале прошлого века Дж. Кейнс, Г. Джеффрис и Г. Шэфер предложили отличать объективную вероятность наступления случайных событий от субъективной вероятности в виде степени убежденности ЛПР в их наступлении. На этой основе Л. Сэвидж позже разработал полноценную субъективную ТВ – где вероятности, с точки

зрения математического моделирования, не отличаются от своих объективных аналогов, но на их основе создана «процедура одновременного измерения полезности и вероятности, основанная на выявленных предпочтениях» ЛПП [10-11].

Таким образом, поскольку разные ЛПП могут делать разный выбор из одинаковых альтернатив, руководствуясь личными соображениями (которые зависят от их знаний, опыта, предпочтений, предубеждений и т.п.), принимаемые ими в одинаковой ситуации решения совсем не обязательно будут совпадать друг с другом. Выработка ОМС требует от ЛПП организационных усилий, и, только если они договорятся между собой и придут к согласию относительно совместных оценок и правил сотрудничества, можно будет надеяться на то, что субъективная вероятность приблизится к своему объективному аналогу. Сказанное относится и к любым другим стохастическим характеристикам объекта, фигурирующим в процессе СИМ (эффективность, риск, ожидаемая полезность): с одной стороны, они неизбежно будут субъективными, поскольку ЛПП должны их определить и формализовать собственными силами, но, с другой стороны – могут быть вполне объективными в рассматриваемой конкретной ситуации, если существуют как бы и «сами по себе», независимо от ЛПП.

Сегодня ясно, что достижения ТВ, в теории систем массового обслуживания например, не могут быть распространены на СТА – поскольку случайные ошибки не являются аналогами заявок на обслуживание, потоки которых там фигурируют. Ошибки – это существенно более сложные СИМ-объекты, баланс между объективными и субъективными компонентами в которых определяется пропорцией между верифицированными и аксиологическими знаниями ЛПП об их свойствах – с учетом неизбежной неопределенности этих знаний. В рамках СТА возможны два пути уменьшения неопределенности знаний: традиционный первый путь основан на совершенствовании методов сбора и обработки исходных данных для проведения СИМ, поиске наиболее объективных критериев оценки и выборе наилучших форм представления и последующего применения его результатов. Второй путь реализует возможности СИМ и ММК, позволяющие исследовать зависимость результатов решения поставленной задачи от степени неопределенности исходных данных непосредственно в процессе их получения – что фактически означает совмещение процедур тестирования и функционирования СИМ-модели в рабочем режиме.

Первый путь ориентирован на перевод субъективных аксиологических знаний в области СТА в объективные верифицированные с формированием соответствующей базы знаний вместо набора имеющихся баз данных. Второй путь направлен на решение прикладных задач – связанных, например, с защитой конфиденциальной информации (КИ) от утечки из подлежащего защите помещения (ПЗП) во внешнюю среду [12]. Но в обоих случаях важное значение имеет развитие вероятностно-статистического подхода к исследованию и моделированию стохастических факторов, определяющих результаты СИМ, – то есть случайных ошибок – с учетом субъективных факторов, влияющих на этот процесс.

### **Моделирование амплитудных и фазовых ошибок**

Анализ особенностей вероятностно-статистического подхода начнем с модели формирования канала утечки КИ через окна в ПЗП, каждое из которых является АСА [13-15]. При формировании условий задачи ЛПП следует исходить из того, что интенсивность облучения окон КИ-сигналом, создаваемым оборудованием, размещенным в ПЗП, является неодинаковой в заданном пространственно-частотно-временном (ПЧВ) объеме, и можно говорить о неравномерности ПЧВ-возбуждения АСА. Поскольку неравномерность возбуждения по амплитуде существенно влияет на параметры любой апертурной антенны, ее следует ввести в модель канала утечки КИ с учетом неопределенности знаний ЛПП о ее свойствах – то есть в виде случайных амплитудных ошибок. Есть эти ошибки в природе или их нет – неважно, но в модели канала утечки КИ (на поверхности АСА) они должны быть, поскольку фактор неравномерности возбуждения окон в ПЗП по амплитуде КИ-сигнала учитывать необходимо.

Таким образом, во-первых, налицо субъективное толкование понятия «амплитудная ошибка», связанное с неопределенностью знаний ЛПП о характере стохастического (ПЧВ-неравномерного и, возможно, даже неадекватного по физическому смыслу) возбуждения АСА в составе модели канала утечки КИ через окна в ПЗП. Но в этой связи уместно вспомнить о совете [9] быть «практическими людьми» и при исследовании АСА действовать так, как если бы реальность существования амплитудных ошибок сомнений не вызывала. Этот важный шаг означает отказ от объективной трактовки знаний об АСА и разграничение понятий истинности и рациональности – с точки зрения ОМС это замена субъективными

аксиологическими знаниями ЛПР объективных верифицированных знаний об АСА. Поскольку возможности метода СИМ и технологии ММК [16-17] позволяют снижать влияние любых неопределенностей на достоверность и точность получаемых результатов, делать это в данном случае вполне допустимо.

Во-вторых, далее возникают три вопроса:

– каким будет решение внешней задачи СТА для компоненты КИ-сигнала на частоте  $\omega_k$  в составе его дискретизированного энергетического спектра  $G_C(\omega_k)$ ;  $k [1; K]$  при отсутствии амплитудных ошибок;

– как промоделировать ПЧВ-неравномерность возбуждения АСА и решить внешнюю задачу СТА методом СИМ при наличии амплитудных ошибок;

– каким будет полученное СИМ-решение в зависимости от динамики ошибок – в том числе по сравнению со случаем их отсутствия.

Последовательно ответив на эти вопросы, ЛПР сможет оценить влияние фактора стохастической ПЧВ-неравномерности облучения окон на процесс формирования канала утечки КИ – используя субъективно введенные модель АСА и понятие амплитудной ошибки. Отметим, что фактор субъективности проявляется здесь и в том, что на низких частотах величина ошибки предполагается незначительной, тогда как с ростом  $\omega_k$  ошибка растет [13-15] – сопровождая рост неравномерности амплитудного возбуждения АСА (что подтверждают результаты измерения уровней КИ-сигнала на окнах ПЗП).

Аналогичным образом, но в еще большем отрыве от интерпретации физических процессов, вводятся фазовая ошибка в гармоническом режиме и временная ошибка в негармоническом режиме (соответствующем несинусоидальным: шумовым, шумоподобным, импульсным и т.п. моделям КИ-сигнала, возбуждающего АСА). Но это также оправдывает себя – тем более что на каждой частоте  $\omega_k$  в составе энергетического спектра КИ-сигнала можно использовать метод комплексных амплитуд [6; 12], существенно упрощающий формальное (аналитическое) моделирование.

При этом, например для ПЗП, оснащенного компьютерной техникой, где частотная область КИ-сигнала исключительно широка (от 100 Гц и менее до 4 ГГц и более), ЛПР фазовыми ошибками на низких частотах вправе пренебречь, тогда как на высоких частотах они достигают  $\pm 180^\circ$  [13-14]. Это вызвано тем, что какая совокупность источников формирует КИ-сигнал в данный момент времени, какие у него свойства и параме-

тры, ЛПР действительно «просто не знает», но неопределенность не означает отсутствие знаний вообще, и те или иные личные гипотезы у него всегда есть [1-2]. Поэтому, хотя подтвердить или опровергнуть наличие фазовых ошибок на окнах ПЗП нельзя, вводить их в модели АСА можно и даже необходимо – причем с учетом предполагаемой корреляционной зависимости друг от друга [18-19].

### Учет неопределенности состава и структуры излучающего объекта

В соответствии с изложенным, в состав модели канала утечки КИ должны входить все шесть комплексных амплитуд ортогональных составляющих (ОС) электрического (в декартовых координатах  $\dot{E}_{x;y;z}$ ) и магнитного ( $\dot{H}_{x;y;z}$ ) векторов электромагнитного поля на окнах в ПЗП. Однако традиционная схема анализа типа «если ..., то...» при таком подходе к дальнейшему моделированию неприменима, так как ЛПР нужно учитывать главный эффект: стохастическое комбинирование ОС в процессе работы АСА, который в теории антенн и даже в СТА аналогов не имеет. Это принципиально новый динамический фактор и новая неопределенность, неустранимая аналитическим или экспериментальным путем – поскольку промоделировать работу комплекса КИ-оборудования, размещенного в ПЗП, с их помощью нельзя. Поэтому ЛПР в дополнение к вероятностно-статистическим методам исследования АСА необходимо применять стохастическую комбинаторику ОС в интересах улучшения адекватности используемых СИМ-моделей.

Исходные данные для проведения СИМ могут быть получены путем решения внешней задачи СТА при отсутствии ошибок – с помощью расчетно-экспериментальных методов и средств теории антенн, которая представляют собой хорошо структурированную и формализованную систему специальных знаний [6]. Состав и структуру данных, фигурирующих при проведении СИМ, иллюстрирует схема на рис. 1.

Согласно рис. 1, представляющие характеристики электромагнитного поля делятся на две «равноправные» части: относящиеся к электрической  $E$ -составляющей (далее  $E$ -поле) и к магнитной  $H$ -составляющей (далее  $H$ -поле), каждая из ОС которых в гармоническом режиме может быть представлена двумя квадратурными компонентами: действительной и мнимой. Таким образом, данные СИМ (сначала исходные, затем промежуточные и выходные) в общем случае представляют собой массивы 12 случайных чи-

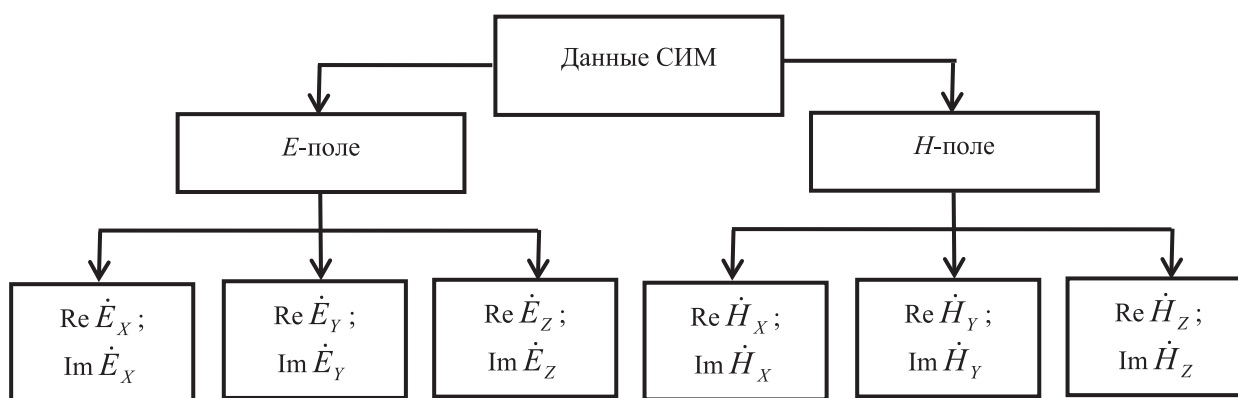


Рис. 1. Состав и структура данных СИМ-объектов СТА

словых величин, характеризующих стохастическое поле объекта СТА.

Применительно к АСА это означает замену элемента Гюйгенса в ее составе триадным элементарным излучателем с длинами виртуальных электрических  $I_{X;Y;Z}^E$  и магнитных  $I_{X;Y;Z}^M$  вибраторов, коммутируемых случайным образом [20], – что ведет к «разыгрыванию» в рамках ММК  $8 \times 8 - 1 = 63$  вариантов сочетаний  $I_{X;Y;Z}^E$  и  $I_{X;Y;Z}^M$ , так как случай их одновременного отсутствия в составе модели следует исключить. Данный подход соответствует максимальной неопределенности знаний ЛППР – когда, в соответствии с принципом безразличия, все возможные варианты состава АСА считаются равновероятными.

Геометрические ошибки, связанные с неопределенностью знаний о пространственном расположении излучающих объектов СТА, представляются наиболее объективными по своей физической сущности. Однако в АСА данный фактор не имеет смысла, поскольку структура и положение окон в ПЗП зафиксированы в ПЧВ-объеме и таких ошибок здесь быть не может. В САФАР, напротив, геометрические ошибки присутствуют, и роль у них двоякая: с одной стороны, они, как и любые другие ошибки, влияют на свойства САФАР, включая важные эффекты самофокусирования и самоприцеливания [6], с другой стороны, их нормирование позволяет определить требования к точности позиционирования модулей САФАР (особенно при мобильных вариантах реализации). Проще говоря, нужно достаточно точно и правильно или расставлять неподвижные модули по рабочим местам, или определять их координаты с учетом движения по предполагаемым траекториям – если речь идет, например, о беспилотных летательных аппаратах.

Отметим, что фактор неопределенности состава СИМ-модели относится к САФАР также, поскольку случайное число ее модулей могут быть неисправными или ненастроенными, находиться в резерве и т.д. Поэтому необходим прогноз: как будет работать САФАР в таком неполном составе (это напоминает возбуждение АСА случайной системой триадных элементарных излучателей) – в комбинации с другими ошибками. Особенности рассмотренных способов учета неопределенности знаний ЛППР о свойствах АСА и САФАР в качестве типовых объектов СТА иллюстрирует рис. 2.

### Применение СИМ-моделей для проектирования систем активной защиты КИ

Рассмотрим особенности перехода из виртуальной среды проведения СИМ в реальную среду проектирования системы активной защиты КИ от утечки через АСА. Как уже было отмечено, использование метода комплексных амплитуд позволяет упростить решение внешней задачи СТА для компоненты КИ-сигнала на частоте  $\omega_k$  в составе его дискретизированного энергетического спектра  $GC(\omega_k)$ ;  $k [1; K]$ . Сказанное относится и к аналогичной компоненте преднамеренной помехи  $GP(\omega_k)$ .

Учитывая, что каждая такая компонента создает в точке перехвата КИ свое  $E$ -поле и  $H$ -поле, получаем как вблизи АСА, так и в дальней волновой зоне для коэффициента превышения «помеха/сигнал» выражения вида

$$\chi_E = G_{\Pi}^E(\omega_k) / G_C^E(\omega_k) = \dot{E}_{\Pi}^* E_{\Pi} / \dot{E}_C^* E_C;$$

$$\chi_H = G_{\Pi}^H(\omega_k) / G_C^H(\omega_k) = \dot{H}_{\Pi}^* H_{\Pi} / \dot{H}_C^* H_C,$$

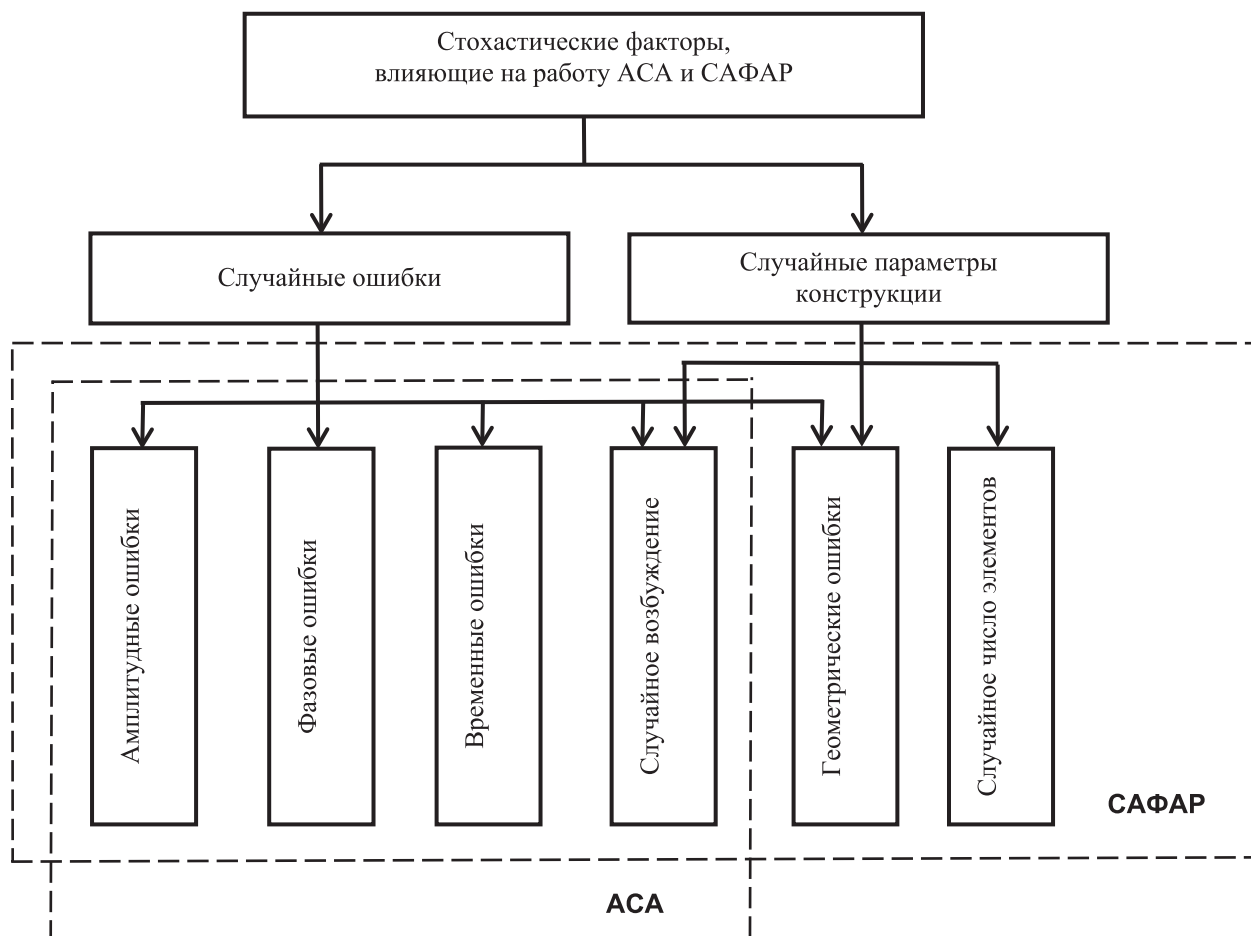


Рис. 2. Способы учета и моделирования неопределенности субъективных знаний ЛПП о свойствах АСА и САФАР

где фигурируют комплексные и комплексно-сопряженные амплитуды соответствующих векторов, поскольку в ближней и промежуточной зонах речь идет об энергии  $E$ -поля и  $H$ -поля для КИ-сигнала и помехи, а в зоне Фраунгофера – о плотности потока мощности их волновых полей.

Если в качестве критериев эффективности защиты КИ, как это обычно и делается, можно принять средние значения коэффициентов превышения  $\bar{\chi}_E = \bar{E}_\Pi^2 / \bar{E}_C^2$  и  $\bar{\chi}_H = \bar{H}_\Pi^2 / \bar{H}_C^2$ , то никаких препятствий здесь не возникает, поскольку уровни КИ-сигнала и помехи не зависят друг от друга, а отношения квадратов их средних значений (при необходимости и отношения средних значений квадратов) достаточно просто определяются в рамках СИМ с применением ММК.

Самостоятельный интерес представляет анализ поляризационных эффектов, возникающих при обеспечении защиты КИ или сопровождающих работу САФАР. Если векторы полей КИ-сигнала и помехи имеют неодинаковую поляризацию, это может привести к образованию в заданном ПЧВ-объеме локальных участков, где

$\bar{\chi}_E$  и  $\bar{\chi}_H$  будут ниже нормативных значений, то есть эффективность защиты КИ от утечки через АСА окажется недостаточной. Чтобы избежать этого или хотя бы спрогнозировать проявление указанных поляризационных эффектов, при помощи СИМ-моделей необходимо исследовать статистические свойства и динамику угловых сферических координат  $\varphi_C^E; \theta_C^E; \varphi_C^H; \theta_C^H$  векторов  $E$ -поля и  $H$ -поля КИ-сигнала, а также  $\varphi_\Pi^E; \theta_\Pi^E; \varphi_\Pi^H; \theta_\Pi^H$  аналогичных векторов преднамеренной помехи – что является важной в теоретическом отношении и актуальной в практическом плане задачей.

### Заключение

Роль исследования реального объекта статистическим методом в соответствии с традиционной методикой СИМ не является первостепенной, если речь идет о таких виртуальных объектах СТА, как АСА и САФАР. В данном случае не менее важное значение для формирования ОМС имеют субъективные аксиологические знания (гипотезы и представления) ЛПП о том, что

могут представлять собой эти объекты, какими характеристиками и параметрами должны обладать их модели. Проблема получения репрезентативной выборки данных (в том числе исходных статистических и экспериментальных), которая является слабым местом СИМ, отходит на задний план и преодолевается с помощью возможностей технологии ММК.

Логика исследования при этом такова: сначала следует рассмотреть «квазидетерминированное» решение внешней задачи СТА (при отсутствии ошибок и других неопределенностей), а затем количественно оценить влияние на него всех потенциально возможных стохастических факторов, учитывающих неопределенность знаний ЛПР о свойствах объекта (в данном случае АСА и САФАР). Наиболее точными и достоверными при этом будут относительные, а не абсолютные результаты: на сколько процентов или децибел изменились (ухудшились или улучшились) выходные данные СИМ в той или иной ситуации.

В итоге можно утверждать (предполагать, прогнозировать), во-первых, что пропорциональное соответствие между объектами СТА в реальной среде и их моделями в виртуальной среде будет примерно одинаковым. Во-вторых, что объема полученных данных будет достаточно для решения прикладных задач – в частности, связанных с обеспечением защиты КИ от утечки из ПЗП во внешнюю среду и др. Пополнение верифицированными сведениями баз данных, относящихся к АСА и САФАР, способствует уменьшению неопределенности знаний ЛПР о них и повышению практической эффективности применения СИМ.

### Литература

1. Маслов О.Н. Онтологические принципы развития статистической теории антенн // Антенны. №4, 2015. – С. 15-25.
2. Маслов О.Н. Теория случайных антенн: атрибуты и отличительные признаки // Инфокоммуникационные технологии. Т.12, №4, 2014. – С. 22-33.
3. Алышев Ю.В., Маслов О.Н., Рябушкин А.В. Методы и средства исследования эффективности случайных антенн. Антенны. 4 (131), 2008. – С. 59-65.
4. Алышев Ю.В., Маслов О.Н., Раков А.С., Рябушкин А.В. Исследование случайных антенн методом статистического имитационного моделирования. Успехи современной радиоэлектроники, 7, 2008. – С. 3-41.
5. Maslov O.N., Rakov A.S., Silkin A.A. Statistical Simulation of Random Antennas like Development of the Statistical Theory Antennas // Proceedings of the IX International Conference on Antenna Theory and Techniques ICATT'13. – IEEE Ukraine, 2013, Odessa. – P. 53-58.
6. Маслов О.Н. Случайные антенны: теория и практика. Самара: Изд. ПГУТИ-ОФОРТ, 2013. – 480 с. // URL: <http://eisn.psuti.ru/publishing/> (д.о. 20.07.2016).
7. Шумейкер П. Модель ожидаемой полезности: разновидности, подходы, результаты и пределы возможностей. Пер. с англ. // THESIS, вып. 5, 1994. – С. 29-80.
8. Королев В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я. Математические основы теории риска. М.: Физматлит, 2007. – 544 с.
9. Кейнс Дж. Общая теория занятости, процента и денег. Пер. с англ. М.: Гелиос АРВ, 2002. – 352 с.
10. Savage L.J. The Foundations of Statistics. N.Y.: Wiley, 1954. – 310 p.
11. Дулесов А.С., Семенова М.Ю. Субъективная вероятность в определении меры неопределенности состояния объекта // Фундаментальные исследования. №3, 2012. – С. 81-86.
12. Маслов О.Н. Применение метода статистического имитационного моделирования для исследования случайных антенн и проектирования систем активной защиты информации // Успехи современной радиоэлектроники. №6, 2011. – С. 42-55.
13. Маслов О.Н., Раков А.С., Силкин А.А. Статистические характеристики поля решетки апертурных случайных антенн // Радиотехника и электроника. Т.58, №11, 2013. – С. 1093-1101.
14. Маслов О.Н., Раков А.С., Силкин А.А. Статистические модели волнового поля апертурной случайной антенны // Радиотехника и электроника. Т.60, №6, 2015. – С. 642-649.
15. Маслов О.Н., Раков А.С. Комплексное моделирование статистических характеристик поля апертурной случайной антенны // Антенны. №2, 2015. – С. 41-49.
16. Маслов О.Н. Моделирование неопределенностей // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. №9, 2014. – С. 79-84.
17. Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Снижение неопределенности выбора управленческих решений с помощью метода статистического имитационного моделирования // Информационные технологии. №6, 2014. – С. 51-57.

18. Маслов О.Н., Раков А.С., Силкин А.А. Статистические характеристики поля апертурной случайной антенны с учетом корреляционной связи между ошибками // *Антенны*. №12, 2012. – С. 3-10.
19. Маслов О.Н., Раков А.С., Силкин А.А. Моделирование условий возбуждения апертурной случайной антенны // *Инфокоммуникационные технологии*. Т.11, №4, 2013. – С. 96-101.
20. Маслов О.Н., Раков А.С. Тriaдный метод анализа и моделирования случайных антенн // *Материалы XVI МНТК «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций (ПТиТТ-2015)»*. – УГАТУ, Уфа, ноябрь, 2015. – С. 170-172.

Получено 10.08.2016

**Маслов Олег Николаевич**, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой экономических и информационных систем (ЭИС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-902-371-06-24. E-mail: maslov@psati.ru

**Шаталов Иван Сергеевич**, аспирант Кафедры ЭИС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-36; 8-927-732-54-22. E-mail: shatalovivv@gmail.com

## SUBJECTIVE FACTORS OF STATISTICAL ANTENNA THEORY: ANALYSIS AND SIMULATION

*Maslov O.N., Shatalov I.S.*

*Povolzhsky State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation*

*E-mail: maslov@psati.ru*

This work deals with problems of convergence between classical (objective) probability theory, subjective probability theory, learning theory and random antenna theory to research random antennas by statistical simulating methods. We demonstrate that statistical simulation initial data determination depends on data type: verified knowledge and subjective axiological knowledge (suppositions concerned with random antennas, characteristics and parameters of random antenna models). Problem of initial data representation (statistical data, experimental data) is one of the main statistic simulation method disadvantage, which may be solved by Monte-Carlo method. Database population by random antenna verified data helps to reduce knowledge uncertainty and to improve statistic simulation efficiency. We considered perspectives of statistic simulating model applications for developing active protection systems for data leakage to outside environment via random antennas.

**Keywords:** random antenna theory, objective (classical) and subjective probability theory, problem of knowledge uncertainty decreasing, statistic simulating method, random antenna research

**DOI:** 10.18469/ikt.2016.14.3.02

**Maslov Oleg Nikolayevich**, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; the Head of Department of Economic Information Systems, Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +79023710624. E-mail: maslov@psati.ru.

**Shatalov Ivan Sergeevich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; PhD student of the Department of Economic Information Systems. Tel.: +79277325422. E-mail: shatalovivv@gmail.com.

### References

1. Maslov O.N. Ontologicheskie principy razvitiya statisticheskoy teorii antenn [Ontological principles of statistical antenna theory]. *Antenny*, 2015, no. 4, pp. 15-25.
2. Maslov O.N. Teoriya sluchaynyih antenn: atributy i otlichitelnyie priznaki [The random antenna theory: attributes and distinguishing features] *Infokommunikatsionnye tekhnologii*, 2014, vol. 12, no. 4, pp. 22-33.
3. Alyishev Yu.V., Maslov O.N., Ryabushkin A.V. Metody i sredstva issledovaniya effektivnosti sluchaynyih antenn [Means and Methods of Random Antennas Efficiency Investigation]. *Antenny*, 2008, no. 4, pp. 59-65.



4. Alyishev Yu.V., Maslov O.N., Rakov A.S., Ryabushkin A.V. Issledovanie sluchaynykh antenn metodom statisticheskogo imitatsionnogo modelirovaniya [Statistic Imitation Modeling Method Investigation of Random Antennas]. *Uspehi sovremennoy radioelektroniki*, 2008, no. 7, pp. 3-41.
5. Maslov O.N., Rakov A.S., Silkin A.A. Statistical Simulation of Random Antennas like Development of the Statistical Theory Antennas. *Proceedings of the IX International Conference on Antenna Theory and Techniques ICATT'13*. IEEE Ukraine, Odessa, 2013, pp. 53-58.
6. Maslov O.N. *Sluchaynyie anteny: teoriya i praktika* [Random antenna: theory and practice]. Samara. PGUTI-OFORT Publ., 2013. 480 p.
7. Paul J.H. Schoemaker. The Expected Utility Model: Its Variants, Purposes, Evidence and Limitations. *Journal of Economic Literature*, June 1982, v.XX, no.2, p.529–563. (Russ. ed. Shumeyker P. Model ozhidaemoy poleznosti: raznovidnosti, podhodyi, rezultaty i predelyi vozmozhnostey. Per. s angl. THESIS, 1994, no. 5, pp. 29-80).
8. Korolev V.Yu., Bening V.E., Shorgin S.Ya. *Matematicheskie osnovy teorii riska* [Mathematical foundations of risk theory]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007. 544 p.
9. Keynes Dzh. *Obschaya teoriya zanyatosti, protsenta i deneg*. Per. s angl. [The General Theory of Employment, Interest and Money] Moscow, Gelios ARV Publ., 2002. 352 p.
10. Savage L.J. *The Foundations of Statistics*. N.Y.: Wiley, 1954. – 310 p.
11. Dulesov A.S., Semenova M.Yu. Sub'ektivnaya veroyatnost v opredelenii meryi neopredelennosti sostoyaniya ob'ekta [Subject probability in measure detection of object state uncertainty]. *Fundamentalnyie issledovaniya*, 2012, no. 3, pp. 81-86.
12. Maslov O.N. Primenenie metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya dlya issledovaniya sluchaynykh antenn i proektirovaniya sistem aktivnoy zaschity informacii [Statistic imitation modeling method for random antennas investigation and active information security systems projecting application]. *Uspehi sovremennoy radioelektroniki*, 2011, no. 6, pp. 42-55.
13. Maslov O.N., Rakov A.S., Silkin A.A. Statistical characteristics of the field of an array of random aperture antennas. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2013, vol. 58, no. 11, pp. 1093-1101. doi: 10.1134/S1064226913110107.
14. Maslov O.N., Rakov A.S., Silkin A.A. Statistical models of the wave field of a random aperture antenna. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2015, vol. 60, no. 6, pp. 642-649. doi: 10.1134/S1064226915030146.
15. Maslov O.N., Rakov A.S. Kompleksnoe modelirovanie statisticheskikh harakteristik polya aperturnoy sluchaynoy anteny [Complex modeling of statistical characteristics of the aperture random antenna field]. *Antenny*, 2015, no. 2, pp. 41-49.
16. Maslov O.N. Modelirovanie neopredelennostey [Modeling of uncertainties]. *Neyrokompyuteryi: razrabotka, primeneniye*, 2014 no.9, pp. 79-84.
17. Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. Snizhenie neopredelennosti vybora upravlencheskikh reshenij s pomoshh'yu metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya [Reducing Uncertainty in a Choice of Management Decisions Using Statistical Simulation]. *Informacionnye tehnologii*, 2014, no. 6, pp. 51-57.
18. Maslov O.N., Rakov A.S., Silkin A.A. Statisticheskie harakteristiki polya aperturnoy sluchaynoy anteny s uchetom korrelyacionnoy svyazi mezhdu oshibkami [Statistical characteristics of field of aperture random antenna with allowance for correlation between errors]. *Antenny*, 2012, no. 12, pp. 3-10.
19. Maslov O.N., Rakov A.S., Silkin A.A. Modelirovanie usloviy vozbuzhdeniya aperturnoy sluchaynoy anteny [Statistic characteristics of field of aperture random antenna]. *Infokommunikatsionnye tekhnologii*. 2013, vol. 11, no. 4, pp. 96-101.
20. Maslov O.N., Rakov A.S. Triadnyj metod analiza i modelirovaniya sluchajnykh antenn [Triadic method of analysis and simulation of random antennas]. *XVI mezhdunarodnaya nauchno-technicheskaya konferenciya «Problemy tekhniki i tehnologii telekommunikacii»*, Ufa, 2015, pp 170-172.

Received 10.08.2016