

УДК 519.673

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ИМИТАЦИИ
СИГНАЛЬНО–ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ
ПРИ ПОЛУНАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ РТС**

Ситников А.С. (Тверь)

Значительное усложнение современных разрабатываемых радиотехнических средств (РТС) привело к расширению круга предварительных исследований и увеличению объемов и сроков натурных испытаний. Отечественный и зарубежный опыт подтверждает факт возрастания до 50% времени, необходимого для конструирования и изготовления опытных образцов.

Внедрение в технологический процесс методов и средств физического и математического моделирования сокращает сроки выполнения и освоения разработок, причем качество и сроки проектирования в значительной степени зависят от полноты функционального анализа и правильного выбора аппаратных единиц разрабатываемой системы уже на этапе предварительных исследований. Однако проведение полного аналитического исследования современных РТС на практике оказывается невозможным ввиду сложности и многокомпонентности РТС. Особое место отводится полунатурному моделированию с заменой ряда звеньев контура управления блоками реальной аппаратуры, что позволяет уточнить основные характеристики уже изготовленных элементов, а также выбрать оптимальные характеристики и параметры проектируемых элементов.

Так как в состав полунатурного стенда антенные системы не могут быть представлены штатными изделиями [1, 2], то в их состав рекомендуется ввести имитатор входных сигналов. Его задача – сформировать информацию, поступающую на вход приемника РТС. На рис. 1 приведена структурная схема полунатурного стенда для отработки режимов работы блока цифровой обработки сигналов.

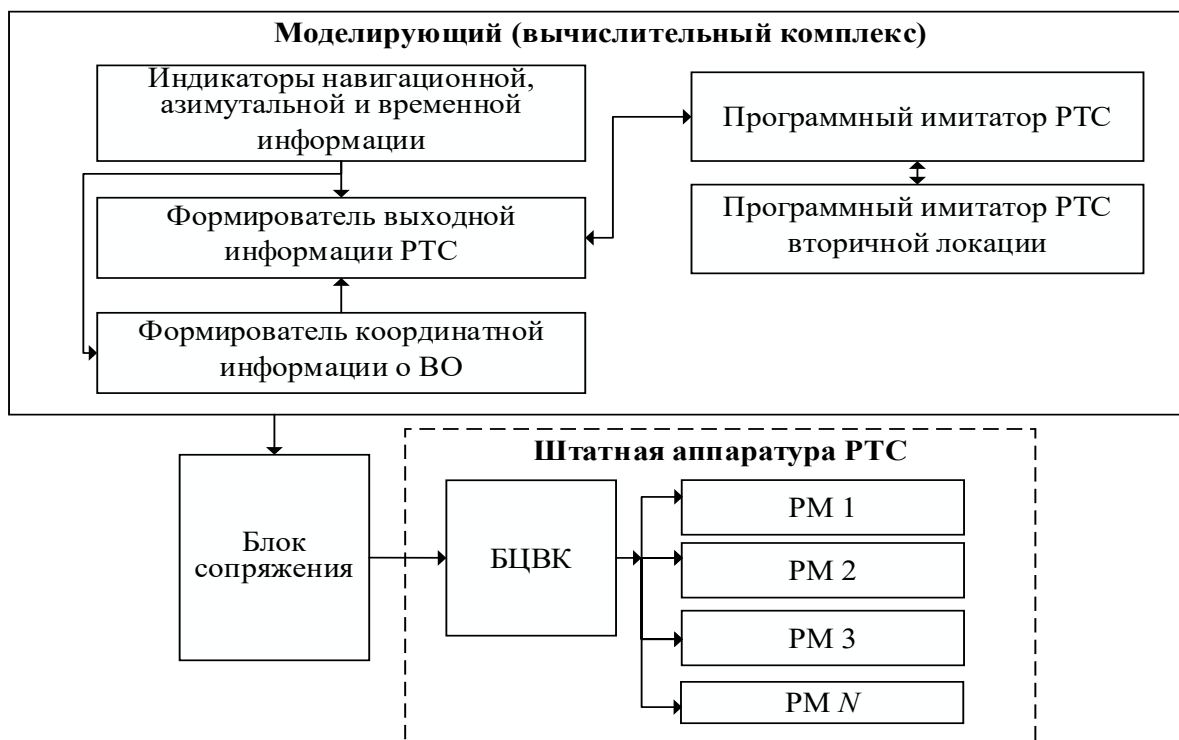


Рис. 1. Структурная схема стенда полунатурного моделирования

Техническим решением стенда полунатурного моделирования является программный имитатор РТС, применение которого повысит эффективность полунатурных испытаний [2, 3] за счет имитации сигнально-помеховой обстановки в жестком модельном времени.

Для достижения данного результата при отработке режимов работы приемного тракта РТС используется информация, полученная во время работы РТС по реальным воздушным объектам (полученная экспериментально) или теоретическая (при этом используются энергетические характеристики известных сигналов). Основным вариантом отработки режимов работы приемного тракта РТС является имитация входных сигналов в соответствии с одним из задаваемых вариантов сигнально-помеховой обстановки, с учетом диаграммы направленности антенны, подстилающей поверхности и имитируемых локационных объектов.

Формирование необходимой информации для проведения испытания на РТС производится в моделирующем комплексе формирователем входной информации за счет:

1. Получения данных от системы единого времени (СЕВ); азимута направления излучения антенны в каждый конкретный момент времени от блока азимутальной привязки (БАП); момента излучения зондирующего сигнала от синхронизатора РТС; данных о координатно-знаковой информации о воздушных объектах (ВО) и постановщиках помех от формирователя координатной информации о ВО (ФКИО); вторичной локации и системы госопознавания.

2. Обработки полученных данных в блоке имитации, построенном на основе алгоритмов имитации дискретных случайных процессов (рис. 2), позволяющий воспроизводить случайные процессы с энергетическими характеристиками – функции спектральной плотности мощности (ФСПМ), функции спектральной плотности дисперсии (ФСПД), автокорреляционная функция (АКФ), задаваемыми аналитически или таблицами значений и оценить точность применяемых алгоритмов имитации.

Блок имитации в предлагаемом полунатурном стенде является новым, так как построен на основе алгоритмов имитации дискретных случайных сигналов с задаваемыми энергетическими характеристиками и состоит:

из исходных данных:

$I1$ – энергетическая характеристика сигнала (ФСЖД или АКФ) в табличном (дискретном) или аналитическом представлении;

$I2$ – число отсчетов N , напрямую влияющее на точность имитации;

$I3$ – вектор параметров, зависящий от задаваемых требований к имитации ($T, \Delta tk, \sigma_c, \omega_c, n$ число реализаций сигнала).

Результаты:

$R1$ – вектор значений воспроизведенного сигнала;

$R2$ – вектор значений теоретической АКФ;

$R3$ – вектор значений алгоритмической АКФ;

$R4$ – вектор значений экспериментальной АКФ; $R5$ – график воспроизведенного сигнала;

$R6$ – графики АКФ;

$R7$ – значения погрешностей АКФ.

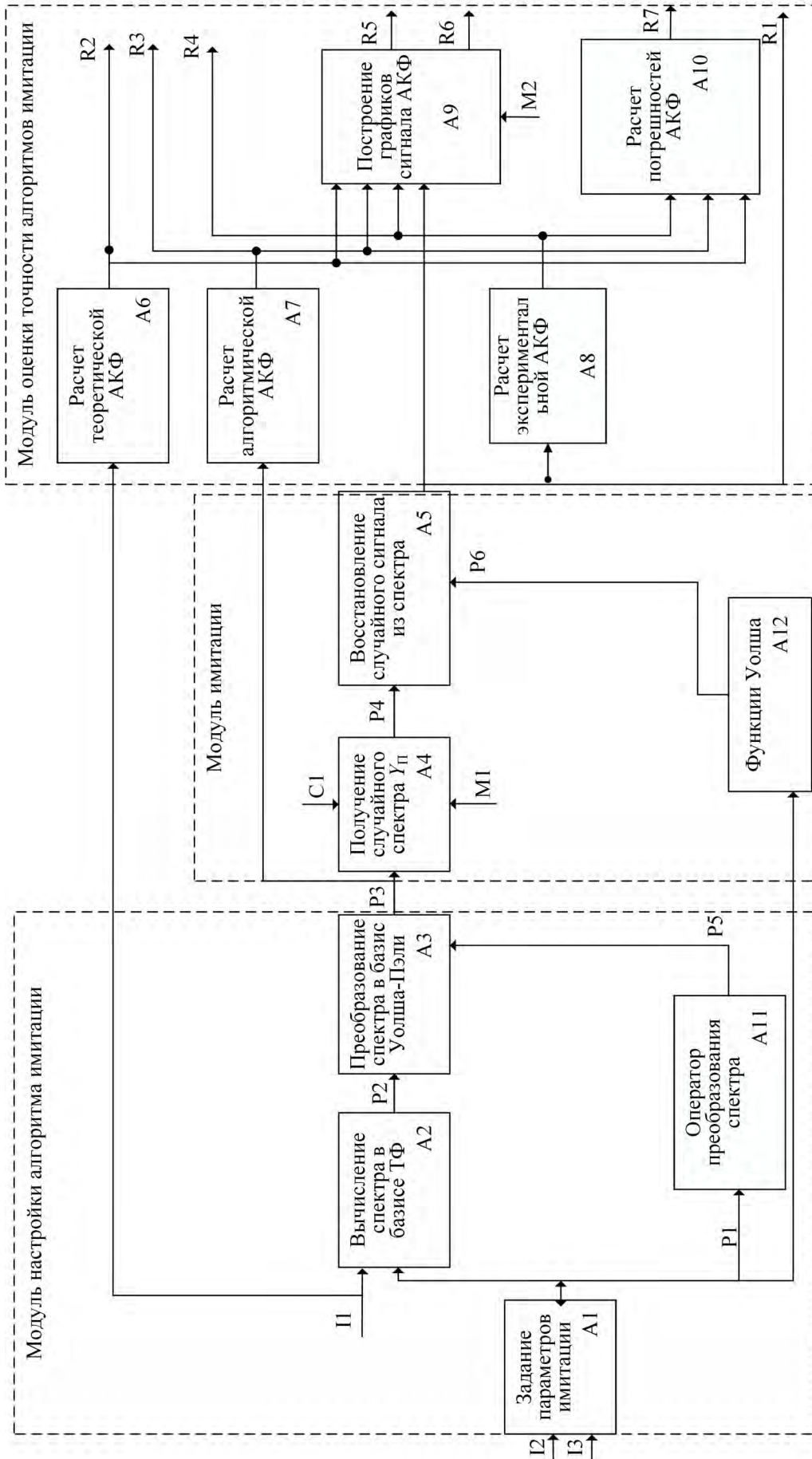


Рис. 2. Блок имитации дискретных случайных процессов

Управляющие данные представлены сигналом $C1$, означающим выбор случайных величин μ , γ (имитация стационарных сигналов) или ξ (имитация нестационарных сигналов).

В качестве внешних механизмов, существующих в среде моделирования, применены:

$M1$ – датчик случайных чисел с заданным законом распределения;

$M2$ – построитель графиков функций.

Промежуточные результаты описаны следующим образом:

$P1$ – порядок ядра Фурье (число отсчетов, мощность исходной и целевой систем базисных функций);

$P2$ – детерминированный спектр сигнала в базисе ТФ;

$P3$ – спектр сигнала в базисе Уолша – Пэли, полученный с помощью прямого или оптимизированного оператора преобразования спектра;

$P4$ – случайный спектр сигнала в базисе Уолша – Пэли;

$P5$ – уравнения преобразования спектра;

$P6$ – значения функций Уолша в упорядочении Пэли.

Программное решение блока имитации заключается в последовательном выполнении следующих операций [4, 5]:

дискретизация заданной энергетической характеристики сигнала выполняется до начала работы, дискретные значения поступают на вход $I1$. Входные данные и параметры Ii , $i=1,3$, а также результаты моделирования Rj , $j=1,7$. При этом блок $A1$ полностью реализует этап задания исходных данных и параметров имитации, а блоки $A6$ – $A10$ отвечают за оценку качества алгоритма имитации по результатам воспроизведения сигналов. Вычисление трех видов АКФ происходит в отдельных функциональных блоках $A6$ – $A8$, после чего результаты поступают в процедуры построения графиков АКФ и сигнала (блок $A9$) и определения погрешностей (блок $A10$). В блоке $A2$ вычисляются дискретные спектральные коэффициенты в тригонометрическом базисе, затем выполняется преобразование спектра в базис Уолша – Пэли (блок $A3$), а прямой либо оптимизированный операторы преобразования спектра (блок $A11$) служат функциональным механизмом для спектрального преобразования. С помощью датчика случайных чисел (механизм $M1$) генерируются случайные величины μ , γ или ξ в зависимости от имитации стационарных или нестационарных сигналов, формируется случайный спектр (блок $A4$), из которого восстанавливается случайный сигнал с помощью одного из алгоритмов в базисе Уолша – Пэли (блок $A5$).

3. С входа блока сопряжения модели информации поступает на входы штатной аппаратуры РТС в соответствии с протоколами информационно-логического сопряжения. Дальнейшая обработка информации в аппаратуре комплекса происходит в штатном режиме функционирования РТС.

В состав стенда включены реальные рабочие места всех членов боевого расчета РТС. На этих рабочих местах проводятся эргономические исследования и проверка реализации команд.

Каждый из членов расчета имеет возможность ввода команд со своего рабочего места. Решение о вводе той или иной команды принимается на основании информации, отображаемой на экране рабочего места.

Проведенное имитационное моделирование в среде *Matlab* в соответствии с предложенным методом показало, что предлагаемый метод не только не ухудшает точность воспроизведения сигналов, но и обладает более высокой точностью имитации по погрешности экспериментальной АКФ. Для эксперимента были выбраны три аналитически задаваемые ФСПД нерационального вида и соответствующие им автокорреляционные функции: физического белого шума, экспоненциальная и кусочно-линейная («треугольная»). Данные характеристики применяются на практике,

хорошо изучены [1, 3] и могут служить в качестве тестовых при испытании алгоритмов имитации случайных процессов, представленными в таблице 1.

Параметры имитации физического белого шума: $N=128$, $\omega_c=10\pi$, $b=0.5$, $\sigma=1$. Значение дисперсии взято равным единице для удобства последующего сравнения и оценки погрешностей, получаемых АКФ имитируемых сигналов.

Параметры имитации экспоненциальной и кусочно-линейной функции $N=128$, $\omega_c=10\pi$, $\sigma=1$: Параметр дискретизации b для экспоненциальной ФСПД взят равным 0.001, для «треугольной» – 0.5.

Практическое моделирование показало, что алгоритмы, рекомендованные в методе имитации сигнально-помеховой обстановки, при полунатурных испытаниях РТС не только не ухудшают точность воспроизведения сигналов, но и обладают несколько более высокой точностью имитации по погрешности экспериментальной АКФ. На примененных ФСПД при достаточном в практических задачах числе отсчетов $N=128$ снижение указанной погрешности составило величину от 0.002 до 0.03. Среднее снижение погрешности при имитации на тех же ФСПД и значениях N от 32 до 1024 имеет разброс от 0.0005 до 0.0152 (рис. 3).

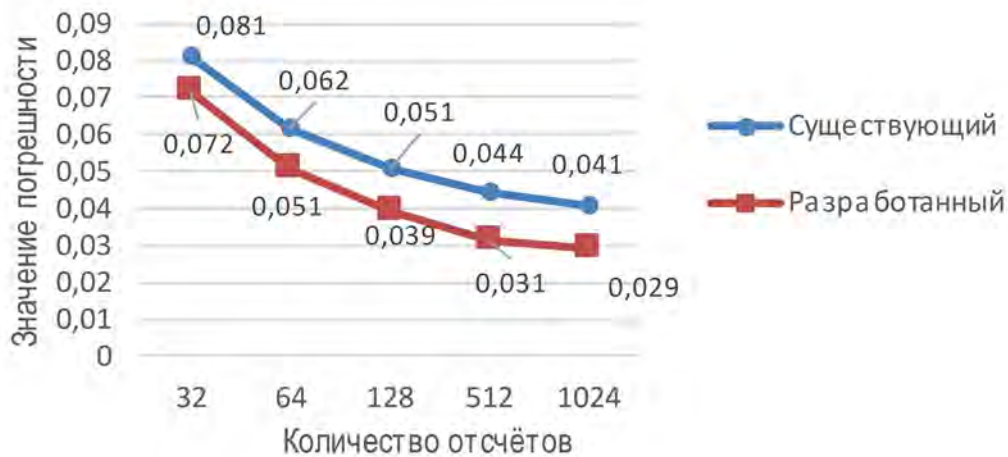


Рис. 3. Зависимости погрешности, усредненной экспериментальной АКФ от числа отсчетов

Проведенный анализ всех основных этапов имитации алгоритмов на основе преобразования Фурье и Уолша-Пэли, представленный в таблице 1, показал: коэффициент выигрыша по времени в среднем больше на 20% , что говорит об уменьшении времени имитации сигнала и дает возможность имитации в жестком модельном времени сигнально-помеховой обстановки РТС.

Таблица 1
Сравнительный анализ основных этапов алгоритмов имитации на основе преобразования Фурье и Уолша-Пэли

N число отсчетов	Время настройки алгоритма, с		Время непосредственной имитации, с		Полное время выполнения алгоритма, с		Доля этапа имитации в полном алгоритме, %		Коэффициент выигрыша во времени на этапе имитации $t_{\Phi}^И / t_{УП}^И$
	$t_{\Phi}^Н$	$t_{УП}^Н$	$t_{\Phi}^И$	$t_{УП}^И$	t_{Φ}	$t_{УП}$	$t_{\Phi} / t_{\Phi}^И$	$t_{УП} / t_{УП}^И$	
32	0.48	1.06	0.46	0.028	0.940	1.088	48.94	2.57	16.43

64	0.86	2.07	0.83	0.044	1.690	2.114	49.11	2.08	18.86
128	1.43	3.41	1.32	0.063	2.750	3.473	48.00	1.81	20.95
512	2.35	5.67	2.18	0.098	4.530	5.768	48.12	1.70	22.24
1024	3.83	9.50	3.64	0.157	7.470	9.657	48.73	1.63	23.18

Рекомендованный метод имитации сигнально-помеховой обстановки на основе алгоритмов имитации дискретных случайных процессов с задаваемыми энергетическими характеристиками позволил сформулировать рекомендации в программном и техническом отношении к существующим методам проведения полунатурных испытаний современных и перспективных РТС, а также доработки определенных стендов до возможности имитации сигнально-помеховой обстановки в режиме жесткого модельного времени с задаваемыми энергетическими характеристиками сигналов.

При таком техническом и программном исполнении стенда полунатурных испытаний РТС возможно уменьшить вычислительную сложность алгоритмов имитации сигнально-помеховой обстановки в режиме жесткого модельного времени и обеспечить требуемую точность [6, 7], что в свою очередь позволит оценить необходимые тактико-технические характеристики РТС в различных задаваемых вариантах сигнально-помеховой обстановки, а также произвести проверку обнаружения всех классов целей и работы комплекса функциональных программ первичной обработки РЛИ (выдача первичных отметок на вход системы вторичной обработки радиолокационной информации) и вторичной обработки РЛИ (поступает информация с динамической модели, производится проверка по времени захвата цели, времени сопровождения, точностные характеристики, разрешение по азимуту и дальности и др.). При этом использование алгоритмов имитации дискретных случайных процессов с задаваемыми энергетическими характеристиками позволит провести оценку работы РТС при большом количестве целей в зоне обзора, при сопровождении плотного строя целей, маневрирующих целей и др. в режиме жесткого модельного времени.

Литература

1. Боков А.С., Важенин В.Г., Иофин А.А., Мухин В.В. Комплекс полунатурного моделирования для сквозных испытаний, тестирования и проверки бортовых радиолокационных систем и устройств // Надежность и качество: труды Международного симпозиума. 2018. Т. 1. С. 40–45.
2. Герасимов А.Б., Кренёв А.Н., Погребной Д.С. Имитация эхо-сигналов в испытаниях радиолокационной техники // Вопросы радиоэлектроники, 2011. №1. С. 202–209.
3. Ким Т.А., Гуренко В.В., Сотников А.А. Обработка цифровых сигналов в Уолшеподобном базисе // Технологии инженерных и информационных систем. 2018. Вып. 3. С. 64–78.
4. Гуренко В.В., Лепкивкер А.М. Спектральное преобразование сигналов из базиса дискретных экспоненциальных функций в базис обобщенных функций Крестенсона // Технологии инженерных и информационных систем. 2019. Вып. 1. С. 21–26.
5. Программа настройки алгоритмов имитации дискретных случайных процессов на заданные энергетические характеристики и воспроизведение сигнала // Свидетельство № 2022680792 / Ситников А.С., Старчиков О.Е., Шведун А.А.
6. Программа оценки точности алгоритмов имитации дискретных случайных процессов по результатам воспроизводимого сигнала // Свидетельство № 2023613290 / Ситников А.С., Старчиков О.Е., Шведун А.А.
7. Гуренко В.В. Применение алгоритмов имитации сигналов в задачах моделирования систем реального времени // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика: сборник статей XVI Международной научно-практической конференции. Пенза: Наука и Просвещение. 2019. С. 55–59.