

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Севастопольский национальный технический университет



**ЗАДАНИЯ
И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
для выполнения курсовой работы
по дисциплине «Радиоэлектронные системы»**

**для студентов заочной формы обучения
специальности "Радиотехника"**

Севастополь – 2011

УДК 621.369.9

Задания и методические рекомендации для выполнения курсовой работы по дисциплине «Радиоэлектронные системы» для студентов ЗФО / Разраб. А.Г. Лукьянчук.— Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. — 19 с.

Цель указаний: Оказание помощи студентам заочной формы обучения при выполнении курсовой работы по РЭС и в овладении методикой проектирования современных радиотехнических систем.

Методические указания утверждены на научно-методическом семинаре кафедры радиотехники

Рецензент: к.т.н. доцент кафедры РТ Михайлюк Ю.П.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение	4
1. ТЕМАТИКА ЗАДАНИЙ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ	5
1.1. Трассовый обзорный радиолокатор управления воздушным движением.....	5
1.2. Судовая навигационная РЛС кругового обзора.....	6
1.3. Самолетная РЛС обзора земной поверхности	7
1.4. РЛС аварийно-спасательного судна	8
1.5. Аэродромный радиолокатор УВД.....	9
1.6. Наземная РЛС обнаружения и измерения координат воздушных целей.....	10
1.7. Самолетный метеонавигационный локатор	11
1.8. Судовая навигационная РЛС речного судна.....	12
1.9. РЛС обнаружения и сопровождения воздушных объектов.....	13
1.10. Береговая навигационная РЛС.....	14
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОСИСТЕМ	15
2.1. Определение рабочей длины волны РЛС	15
2.2. Выбор вида зондирующего сигнала и расчет его параметров	16
2.3. Расчет характеристик обзора пространства	16
2.4. Определение эффективной площади рассеяния объектов.....	16
2.5. Определение пороговой мощности радиоприемного устройства РЛС	17
2.6. Расчет разрешающей способности РЛС	17
2.7. Расчет точности измерения радиотехнической системы.....	18
2.8. Расчет энергетических характеристик радиосистемы	18
Литература.....	19

ВВЕДЕНИЕ

Задачей курсовой работы является углубление знаний студентов о современных радиотехнических комплексах, овладение методикой обоснования и расчета основных характеристик радиоэлектронных систем (РЭС), развитие навыков исследования и системного подхода разработке радиотехнической аппаратуры. В результате выполнения курсовой работы студент должен рассчитать и обосновать основные характеристики системы, составить и описать структурную схему радиолокационной станции (РЛС) в соответствии с индивидуальным заданием.

Задания на курсовую работу, представленные в разделе 1, включают в себя: тему работы, исходные данные для расчета и технические характеристики системы, которые должны быть рассчитаны при проектировании. Выбор темы курсовой работы производится по последней цифре зачетной книжки, а выбор варианта исходных данных для расчета — по предпоследней цифре зачетной книжки.

Расчетно-пояснительная записка объемом до 25-30 страниц формата А4 должна содержать:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу;
- содержание;
- введение (постановку задачи, обзор современного состояния вопроса по разрабатываемому варианту РЛС);
- выбор и обоснование структурной схемы РЛС и описание её работы;
- расчет тактико-технических характеристик РЛС;
- сводную таблицу заданных и полученных в результате расчетов параметров проектируемой РЛС;
- заключение (выводы по работе);
- библиографию.

Необходимые функциональные схемы, временные диаграммы токов и напряжений, графики и прочие иллюстрационные материалы выполняются на листах формата А4 и подшиваются к пояснительной записке. Все параметры и коэффициенты, которые в процессе выполнения курсовой работы не рассчитываются, а выбираются, должны иметь краткое техническое обоснование.

Курсовая работа выполняется на основании анализа характеристик современных РЛС и требует привлечения, как учебной, так и научно-технической литературы (монографий, журналов “Радиотехника”, “Зарубежная радиоэлектроника” и др.). В сети Интернет представлены описания и технические характеристики современных радиолокационных систем «Балтика», «Скала», «Гроза» «Наяда», «Иртыш», «Furuno», «Raumarine» и др. Ссылки на используемую литературу по тексту пояснительной записки являются обязательными.

В течение последних десятилетий совершенствовались в основном элементная база приемопередающей аппаратуры и устройства вторичной обработки радиолокационной информации, а по системным вопросам учебная литература не издавалась. Этим объясняется наличие в представленном перечне литературы достаточно старых источников, потому что теория и методы радиолокации были сформированы и опубликованы в течение 60...80-х годов 20 века.

1. ТЕМАТИКА ЗАДАНИЙ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Выбор номера темы курсовой работы производится по последней цифре зачетной книжки, а выбор номера варианта исходных данных для расчета — по предпоследней цифре зачетной книжки.

1.1. Тема № 1 — Трассовый обзорный радиолокатор управления воздушным движением

Исходные данные: Наземная РЛС кругового обзора должна обеспечивать обнаружение летательных аппаратов с эффективной площадью рассеяния $\sigma_{\text{эфф}}$ на дальности $D_{\text{макс}}$ в диапазоне высот до $h_{\text{ц}}$ с вероятностями правильного обнаружения $P_{\text{по}}$ и вероятностью ложной тревоги $P_{\text{лт}}$, а также измерение координат воздушных целей с разрешением по дальности $\delta(D)$ и по азимуту $\delta(\alpha)$. РЛС должна работать в условиях дождя интенсивностью I . Среднеквадратическая погрешность измерения дальности не должна превышать $\sigma(D)$. Период обновления информации о цели должна быть не больше $T_{\text{обз}}$. Цифровые значения параметров приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 — Исходные данные для расчета трассового радиолокатора

№ вар.	$D_{\text{макс}}$, км	$\sigma_{\text{эфф}}$, м ²	$P_{\text{по}}$	$P_{\text{лт}}$	$\delta(D)$, м	$\delta(\alpha)$, град	I , мм/ч	$T_{\text{обз}}$, с	$\sigma(D)$, м	$h_{\text{ц}}$, км
1	300	25	0,92	10^{-6}	710	1,5	16	10	200	15
2	400	35	0,94	10^{-5}	900	1,5	28	12	250	18
3	350	32	0,93	10^{-6}	600	1,3	16	8	180	13
4	250	28	0,90	10^{-7}	550	1,8	16	6	100	10
5	380	30	0,95	10^{-5}	850	1,5	14	12	140	17
6	270	20	0,93	10^{-7}	650	1,6	28	10	220	14
7	360	36	0,91	10^{-6}	750	1,4	28	14	160	16
8	180	15	0,92	10^{-7}	500	1,8	16	6	260	12
9	320	24	0,96	10^{-5}	700	1,6	28	12	180	15
10	190	18	0,93	10^{-7}	520	2,0	16	8	250	11

Задание: Разработать структурную схему РЛС. Обосновать выбор рабочей длины волны (как правило, трассовые радиолокаторы используют диапазон волн 23 см), выбрать вид и параметры зондирующего сигнала. Обосновать и рассчитать период, длительность, скважность зондирующих импульсов; период и скорость обзора пространства; время облучения цели и количество накапливаемых импульсов; эффективную площадь, КПД, КНД, размеры антенны и ширину ДН по азимуту и углу места ($\theta_{\text{ум}} \approx 40^\circ \dots 45^\circ$). Вычислить размеры элемента разрешения и ЭПР осадков, пороговую мощность приемника РЛС с учетом потерь при обработке; вид и основные технические характеристики индикатора; потенциальную и реальную разрешающую способность и погрешности измерения дальности и угловых координат объектов при аналоговом и цифровом измерении, минимальную требуемую импульсную и среднюю мощность передатчика. Предложить меры подавления отражений от осадков и пассивной помехи.

1.2. Тема № 2 — Судовая навигационная РЛС кругового обзора

Исходные данные: РЛС кругового обзора для крупнотоннажных судов должна обеспечивать на максимальной дальности $D_{\text{МАКС}}$ обнаружение целей, имеющих ЭПР $\sigma_{\text{ЭФФ}}$, с вероятностью ложной тревоги $P_{\text{ЛТ}}$ и вероятностью правильного обнаружения $P_{\text{ПО}}$. На максимальной дальности должны быть обеспечены: разрешающая способность системы по дальности — $\delta(D)$, а по азимуту — $\delta(\alpha)$; выделение сигналов целей в условиях осадков интенсивностью I или тумана видимостью 30 м. Высота установки антенны — h_A . Период кругового обзора — $T_{\text{ОБЗ}}$. Цифровые значения параметров приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 — Исходные данные для расчета судовой навигационной РЛС

№ вар.	$D_{\text{МАКС}}$, км	$\sigma_{\text{ЭФФ}}$, м ²	$P_{\text{ПО}}$	$P_{\text{ЛТ}}$	$\delta(D)$, м	$\delta(\alpha)$, град	I , мм/ч	h_A , м	$T_{\text{ОБЗ}}$, с
1	120	400	0,92	10^{-3}	240	1,5	4	25	8
2	90	120	0,95	10^{-4}	165	1,8	16	10	6
3	100	500	0,90	10^{-2}	220	1,1	4	20	8
4	110	220	0,94	10^{-3}	200	1,6	16	15	7
5	80	200	0,91	10^{-2}	200	1,9	4	16	6
6	75	160	0,96	10^{-4}	170	1,6	28	18	5
7	115	100	0,93	10^{-3}	210	1,8	16	23	8
8	95	170	0,95	10^{-4}	165	1,7	28	17	6
9	105	300	0,94	10^{-3}	190	1,6	16	24	7
10	85	140	0,96	10^{-5}	160	1,5	28	13	5

Задание: Разработать структурную схему судовой навигационной РЛС. Обосновать и выбрать рабочую длину волны, метод измерения координат объектов, вид зондирующего сигнала. Для улучшения разрешающей способности РЛС на малых дальностях целесообразно использовать укорочение длительности зондирующего импульса. Рассчитать период, длительность и форму зондирующих сигналов; период и скорость обзора пространства, время облучения сигналов, эффективную площадь, КНД, КПД, ширину ДН антенны и вид поляризации сигнала, пороговую мощность на входе приёмника с учётом выбора его схемы, вида обработки и фильтрации сигнала, коэффициент различимости, потерь при обработке и индикации вид и характеристики индикаторного устройства, размеры элемента разрешения и ЭПР подстилающей морской поверхности при волнении порядка 3 баллов, минимальную мощность передатчик; случайные, систематические и результирующие погрешности измерения координат при аналоговом и цифровом методах измерения. Разработать меры улучшения обнаружения полезного сигнала на фоне отражений от морской поверхности.

1.3. Тема № 3 — РЛС аварийно-спасательного судна

Исходные данные: РЛС должна обеспечивать обнаружение малоразмерных надводных объектов, измерение дальности в диапазоне от $D_{\text{МАКС}}$ до $D_{\text{МИН}}$ и азимута объекта в диапазоне 360° . Вероятность обнаружения шлюпки с угловым отражателем на максимальной дальности должна обеспечиваться не менее — $P_{\text{ПО}}$ при вероятности ложной тревоги $P_{\text{ЛТ}}$. Размер грани отражателя — $a_{\text{ОТР}}$. На максимальном масштабе шкалы дальности разрешающая способность по дальности не более $\delta(D)$, а по азимуту — $\delta(\alpha)$. РЛС должна обеспечивать нормальную работу при высоте морского волнения $h_{\text{ВОЛН}}$. Высота установки антенны РЛС — $h_{\text{А}}$, а период ее вращения — $\Omega_{\text{А}}$. Цифровые значения указанных параметров приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 — Исходные данные для расчета РЛС спасательного судна

№ вар.	$D_{\text{МАКС}}$, км	$D_{\text{МИН}}$, м	$P_{\text{ПО}}$	$P_{\text{ЛТ}}$	$a_{\text{ОТР}}$, м	$\delta(D)$, м	$\delta(\alpha)$, град	$\Omega_{\text{А}}$, об/мин	$h_{\text{А}}$, м	$h_{\text{ВОЛН}}$, м
1	60	150	0,93	10^{-2}	0,30	300	1,8	10	18	1,2
2	50	100	0,85	10^{-4}	0,25	250	1,2	8	10	1,8
3	65	140	0,94	10^{-3}	0,35	260	2,0	9	14	3,0
4	40	80	0,85	10^{-4}	0,40	190	1,1	12	11	2,0
5	59	110	0,95	10^{-2}	0,37	200	1,6	11	7	1,6
6	35	70	0,84	10^{-4}	0,29	150	1,3	6	20	2,2
7	55	85	0,96	10^{-3}	0,32	190	1,4	9	9	0,7
8	45	80	0,87	10^{-4}	0,39	170	1,6	10	10	3,0
9	58	120	0,97	10^{-2}	0,33	270	1,2	7	8	1,4
10	48	90	0,86	10^{-4}	0,37	180	1,5	8	12	2,2

Задание: Разработать структурную схему судовой РЛС. Обосновать и выбрать рабочую длину волны, метод измерения дальности и угловых координат положения объектов. Рассчитать период, длительность и форму зондирующих сигналов; параметры обзора, период и скорость обзора пространства, время облучения цели, число накапливаемых сигналов, эффективную площадь, КНД, КПД, ширину ДН и вид поляризации антенны, пороговая мощность на входе приемника с учетом выбора ее схемы, вида обработки и фильтрации сигнала, коэффициента различимости, потерь при обработке и индикации; вид и параметры индикатора, размеры элемента разрешения и ЭПР подстилающей поверхности при заданной высоте морского волнения, мощность передатчика; случайные систематические и результирующие погрешности измерения дальности и азимута при аналоговом и цифровом измерении координат.

Оценить максимальную потенциальную дальность обнаружения судна с активным аварийный ответчиком, который имеет всенаправленную антенну и мощность излучения 400 мВт. Предложить методы снижения мощности передатчика и подавление мешающих отражений от подстилающей поверхности.

1.4. Тема № 4 — Аэродромный радиолокатор УВД

Исходные данные: Наземная РЛС управления воздушным движением (УВД) должна в режиме кругового обзора обеспечивать обнаружение летательных аппаратов с эффективной площадью рассеяния $\sigma_{\text{эфф}}$ на подступах к аэродрому и в зоне предпасадочного маневрирования на дальности $D_{\text{макс}}$ в диапазоне высот от $h_{\text{макс}}$ до $h_{\text{мин}}$ с вероятностями правильного обнаружения $P_{\text{по}}$ и вероятностью ложной тревоги $P_{\text{лт}}$. Период кругового обзора не должен превышать $T_{\text{обз}}$, а разрешающая способность по дальности — $\delta(D)$ и азимуту — $\delta(\alpha)$. Обнаружение самолетов с эффективной площадью рассеяния $\sigma_{\text{эфф}}$ должно обеспечиваться в условиях осадков интенсивностью I . Цифровые значения параметров РЛС приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 — Исходные данные для расчета аэродромного радиолокатора

№ вар.	$D_{\text{макс}}$, км	$h_{\text{макс}}$, км	$h_{\text{мин}}$, км	$P_{\text{по}}$	$P_{\text{лт}}$	$T_{\text{обз}}$, с	$\delta(D)$, м	$\delta(\alpha)$, град	I , мм/ч	$\sigma_{\text{эфф}}$, м ²
1	120	10	1,5	0,92	10^{-7}	6	300	1,9	16	33
2	40	3	0,5	0,96	10^{-5}	4	140	2	28	20
3	100	8	1,2	0,93	10^{-7}	5	290	1,3	16	36
4	55	7	0,8	0,92	10^{-6}	6	170	1,8	16	28
5	90	9	1,0	0,94	10^{-5}	6	260	1,7	14	30
6	60	6	0,8	0,93	10^{-7}	4	160	2	28	25
7	80	8	0,7	0,91	10^{-6}	5	220	1,4	28	35
8	110	9	1,2	0,93	10^{-6}	6	280	1,8	16	15
9	70	8	0,6	0,90	10^{-7}	5	250	1,6	28	24
10	50	3	0,5	0,95	10^{-5}	4	150	2,0	16	18

Задание: Разработать структурную схему РЛС. Обосновать выбор рабочей длины волны (как правило, аэродромные локаторы управления движением используют диапазон волн 10 см), выбрать вид и параметры зондирующего сигнала. Обосновать и рассчитать период, длительность, скважность зондирующих импульсов; период и скорость обзора пространства; время облучения цели и количество накапливаемых импульсов; эффективную площадь, КПД, КНД, ширину ДН и размеры антенны по азимуту и углу места. Ширина диаграммы направленности по углу места обычно составляет около 36...40 градусов. Вычислить размеры элемента разрешения и ЭПР осадков, пороговую мощность приемника РЛС с учетом потерь при обработке; вид и основные технические характеристики индикатора; потенциальную и реальную разрешающую способность и погрешности измерения дальности и угловых координат объектов при аналоговом и цифровом измерении, минимальную требуемую импульсную и среднюю мощность передатчика. Предложить меры подавления отражений от осадков и пассивной помехи.

1.5. Тема № 5 — РЛС маломерного судна

Исходные данные: РЛС с импульсной мощностью передатчика $P_{\text{и}}$ должна обеспечивать измерение координат крупных береговых объектов на максимальной дальности $D_{\text{макс}}$ и азимута объекта в диапазоне 360° . Вероятность обнаружения навигационного маяка с уголкового отражателем на половинной максимальной дальности должна обеспечиваться не менее — $P_{\text{по}}$ при вероятности ложной тревоги $P_{\text{лт}} = 10^{-2}$. Размер прямоугольных граней отражателя — $a_{\text{отр}}$.

На максимальном масштабе шкалы дальности разрешающая способность по дальности должна обеспечиваться не более $\delta(D)$, а по азимуту — $\delta(\alpha)$. РЛС должна обеспечивать нормальную работу при высоте морского волнения $h_{\text{волн}}$. Высота установки антенны РЛС — $h_{\text{А}}$, а период ее вращения — $T_{\text{обз}}$. Цифровые значения указанных параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Исходные данные для расчета РЛС спасательного судна

№ вар.	$P_{\text{и}}$ кВт	$D_{\text{макс}}$, км	$P_{\text{по}}$	$P_{\text{лт}}$	$a_{\text{отр}}$, м	$\delta(D)$, м	$\delta(\alpha)$, град	$T_{\text{обз}}$, с	$h_{\text{А}}$, м
1	1,3	40	0,93	$1 \cdot 10^{-2}$	0,29	180	1,8	4,0	4,5
2	1,8	50	0,85	$2 \cdot 10^{-3}$	0,32	270	1,2	5,5	4,8
3	2,0	65	0,94	$2 \cdot 10^{-2}$	0,39	300	2,0	6,5	6,8
4	1,5	45	0,85	$5 \cdot 10^{-3}$	0,33	190	1,1	4,5	5,5
5	2,5	60	0,92	$3 \cdot 10^{-2}$	0,37	260	1,6	5,0	6,2
6	1,6	35	0,84	$3 \cdot 10^{-3}$	0,30	150	1,3	3,5	4,6
7	2,2	55	0,90	$9 \cdot 10^{-3}$	0,25	200	1,4	6,0	5,2
8	1,9	45	0,87	$4 \cdot 10^{-3}$	0,35	190	1,6	4,3	5,7
9	2,4	58	0,91	$4 \cdot 10^{-2}$	0,40	250	1,2	5,8	5,8
10	1,4	35	0,86	$6 \cdot 10^{-3}$	0,37	170	1,5	3,7	5,1

Задание: Разработать структурную схему навигационной РЛС для катеров и яхт и привести временные диаграммы, поясняющие работу схемы. Обосновать и выбрать рабочую длину волны, метод измерения дальности и угловых координат положения объектов. Рассчитать период, длительность и форму зондирующих сигналов; параметры обзора, период и скорость обзора пространства, время облучения цели, число накапливаемых сигналов, эффективную площадь, КНД, КПД, ширину ДН и вид поляризации антенны, пороговая мощность на входе приемника с учетом выбора ее схемы, вида обработки и фильтрации сигнала, коэффициента различимости, потерь при обработке и индикации; вид и параметры индикатора, размеры элемента разрешения и ЭПР подстилающей поверхности при заданной высоте морского волнения, мощность передатчика; случайные систематические и результирующие погрешности измерения дальности и азимута при аналоговом и цифровом измерении координат. Предложить методы снижения мощности передатчика и подавление мешающих отражений от подстилающей поверхности.

1.6. Тема № 6 — Наземная РЛС обнаружения и измерения координат воздушных целей

Исходные данные: РЛС должна обеспечивать обнаружение воздушных целей с вероятностью правильного обнаружения не менее $P_{\text{ПО}}$ и вероятностью ложной тревоги $P_{\text{ЛТ}}$ в диапазоне дальностей до воздушных целей от D_1 до D_2 при высоте полета самолета $h_{\text{Ц}}$. Эффективная площадь рассеяния цели — $\sigma_{\text{ЭФФ}}$. Антенна РЛС с косеканс-квадратной диаграммой направленности должна совершает круговой обзор по азимуту с угловой скоростью Ω . Система должна обеспечивать реальную разрешающую способность по дальности — $\delta(D)$, по азимуту — $\delta(\alpha)$. Цифровые значения параметров приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 — Исходные данные для расчета наземной РЛС

№ вар.	$P_{\text{ПО}}$	$P_{\text{ЛТ}}$	D_1 , км	D_2 , км	$h_{\text{Ц}}$, км	$\sigma_{\text{ЭФФ}}$, м^2	Ω , об/с	$\delta(D)$, м	$\delta(\alpha)$, град
1	0,92	10^{-4}	10	320	15	40	20	300	1,0
2	0,97	10^{-3}	15	250	16	19	22	400	2,0
3	0,93	10^{-5}	17	380	22	36	30	650	1,2
4	0,96	10^{-4}	20	300	20	27	10	560	1,9
5	0,94	10^{-3}	16	400	18	50	20	600	1,4
6	0,97	10^{-2}	17	360	19	28	12	400	1,7
7	0,95	10^{-4}	10	240	14	22	30	460	1,6
8	0,98	10^{-4}	18	290	21	40	25	280	1,3
9	0,96	10^{-3}	14	270	15	18	20	380	1,8
10	0,97	10^{-2}	15	230	17	33	18	310	1,5

Задание: Разработать структурную схему наземной РЛС. Обосновать и выбрать метод измерения дальности и углового положения объектов, рабочую длину волны, вид и параметры зондирующего сигнала. Рассчитать период, длительность и скважность зондирующих сигналов, период и скорость обзора пространства, время облучения цели и число накапливаемых сигналов в пачке, эффективную площадь, КНД, КПД, ширину ДН антенны по азимуту и углу места; пороговую мощность на входе приемника с учетом выбора схемы обработки сигнала и фильтрации, коэффициента различимости, потерь при обработке и фильтрации, вид и параметры индикаторного устройства; размеры элемента разрешения и ЭПР пассивной помехи состоящей из полуволновых вибраторов, случайные, систематические и результирующие погрешности измерения координат целей при аналоговом и цифровом измерении координат, минимальную импульсную и среднюю мощность передатчика, обеспечивающую обнаружение цели.

Предложить меры подавления пассивной помехи и построить зависимость ЭПР помехи в зависимости от концентрации количества вибраторов в воздухе.

1.7. Тема № 7 — Самолетный метеонавигационный локатор

Исходные данные: Самолетная РЛС должна обеспечивать: обнаружение грозового фронта на дальности $D_{\text{МАКС}}$; обнаружение самолетов с эффективной площадью рассеяния 10 м^2 на половинной дальности; получение радиолокационной карты земной поверхности от $D_{\text{МИН}}$ до $D_{\text{МАКС}}$ при высоте полета самолета $h_{\text{С}}$. Обнаружение зон активной грозовой деятельности с эквивалентной интенсивностью осадков I должно обеспечиваться с вероятностями правильного обнаружения $P_{\text{ПО}}$ и ложной тревоги $P_{\text{ЛТ}}$.

РЛС должна осуществлять секторный обзор по азимуту $\Phi_{\text{АЗ}}$ с периодом $T_{\text{ОБЗ}}$. Угол наклона ДН антенны в вертикальной плоскости должен регулироваться в диапазоне $\Phi_{\text{УМ}}$. Индикатор локатора должен иметь не менее четырех масштабов дальности. Длительность импульса передатчика на максимальном масштабе дальности составляет $\tau_{\text{И}}$. Для исключения столкновения станция должна обеспечивать на основании анализа характеристик принимаемого сигнала выдачу команд "Опасность - горы", "Опасность - гроза", "Опасность - самолет". Цифровые значения параметров приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 — Исходные данные для расчета метеонавигационной РЛС

№ вар.	$D_{\text{МАКС}}$, км	$D_{\text{МИН}}$, км	$h_{\text{С}}$, км	I , мм\ч	$P_{\text{ПО}}$	$P_{\text{ЛТ}}$	$\Phi_{\text{АЗ}}$, град	$T_{\text{ОБЗ}}$, с	$\Phi_{\text{УМ}}$, град	$\tau_{\text{И}}$, мкс
1	500	15	13	40	0,90	10^{-4}	120	6	± 10	5,5
2	400	13	9	35	0,92	10^{-3}	160	5	± 12	3,5
3	420	12	10	30	0,94	10^{-4}	180	6	± 14	3,0
4	360	10	8	28	0,91	10^{-3}	150	4	± 17	2,0
5	450	12	9	40	0,93	10^{-2}	170	6	± 15	4,0
6	480	15	12	35	0,87	10^{-5}	140	5	± 11	5,0
7	440	10	7	30	0,96	10^{-2}	160	4	± 13	3,5
8	460	11	10	40	0,92	10^{-3}	130	6	± 16	4,5
9	380	13	8	35	0,95	10^{-2}	150	5	± 20	2,5
10	350	11	7	28	0,91	10^{-4}	145	4	± 18	2,0

Задание: Разработать структурную схему самолетной РЛС. Обосновать и выбрать методы измерения дальности и угловых координат цели, рабочую длину волны, вид и параметры зондирующего сигнала, вид обзора пространства (в бортовых самолетных локаторах, как правило, используется трехсантиметровый диапазон волн, а размер антенны не превышает 1,2 м). Рассчитать период и скважность зондирующих импульсов; скорость обзора, время облучения и число накапливаемых импульсов от сосредоточенной цели; эффективную площадь, КНД, КПД, ширину ДН и размеры элемента разрешения и ЭПР грозового фронта; пороговую мощность на входе приемника с учетом схемы обработки сигнала и фильтрации, коэффициента различимости, потерь при обработке и индикации; вид и параметры индикатора обнаружения; случайные, систематические и результирующие погрешности измерения координат; минимальную импульсную и среднюю мощность передатчика РЛС.

1.8. Тема № 8 — Судовая навигационная РЛС речного судна

Исходные данные: РЛС кругового обзора предназначена для обеспечения безопасности мореплавания речных судов в каналах, узкостях, входящих и выходящих из гавани. Передатчик РЛС трехсантиметрового диапазона с импульсной мощностью $P_{\text{и}}$ должен обеспечивать обнаружение пассивных маяков (угловых отражателей с размером грани $a_{\text{отр}}$) на максимальной дальности $D_{\text{макс}}$ с вероятностью правильного обнаружения не менее $P_{\text{по}}$ и вероятностью ложной тревоги $P_{\text{лт}}$ в условиях осадков интенсивностью I . На максимальной дальности должны обеспечены: разрешающая способность системы по дальности — $\delta(D)$, а по азимуту — $\delta(\alpha)$. Период кругового обзора — $T_{\text{обз}}$. Цифровые значения параметров приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 — Исходные данные для расчета навигационной РЛС речного судна

№ вар.	$P_{\text{и}}$, кВт	$a_{\text{отр}}$, м	$D_{\text{макс}}$, км	$P_{\text{по}}$	$P_{\text{лт}}$	I , мм/ч	$\delta(D)$, м	$\delta(\alpha)$, град	$T_{\text{обз}}$, с
1	2,5	0,6	32	0,92	10^{-3}	16	68	1,5	2,1
2	4,0	0,9	50	0,85	10^{-4}	4	110	1,8	4,0
3	3,2	0,5	47	0,90	10^{-2}	28	95	1,1	3,7
4	2,8	0,4	30	0,94	10^{-3}	16	90	1,6	2,3
5	3,8	0,8	45	0,91	10^{-2}	4	100	1,9	3,5
6	2,2	0,4	36	0,86	10^{-4}	28	85	1,6	2,6
7	2,9	0,3	30	0,93	10^{-3}	4	80	1,8	2,0
8	3,3	0,9	42	0,85	10^{-4}	4	98	1,7	2,8
9	3,9	0,7	52	0,94	10^{-3}	16	112	1,6	4,2
10	3,0	0,6	44	0,87	10^{-4}	28	105	1,5	3,3

Задание: Разработать структурную схему судовой навигационной РЛС. Обосновать и выбрать рабочую длину волны, метод измерения координат объектов, вид зондирующего сигнала. Для улучшения разрешающей способности РЛС на малых дальностях целесообразно использовать укорочение длительности зондирующего импульса. Рассчитать период, длительность и форму зондирующих сигналов; период и скорость обзора пространства, время облучения сигналов, эффективную площадь, КНД, КПД, ширину ДН антенны и вид поляризации сигнала, пороговую мощность на входе приёмника с учётом выбора его схемы, вида обработки и фильтрации сигнала, коэффициент различимости, потерь при обработке и индикации вид и характеристики индикаторного устройства, размеры элемента разрешения и ЭПР подстилающей морской поверхности при волнении порядка 3 баллов, минимальную мощность передатчик; случайные, систематические и результирующие погрешности измерения координат при аналоговом и цифровом методах измерения. Разработать меры улучшения обнаружения полезного сигнала на фоне отражений от морской поверхности.

1.9. Тема № 9 — РЛС обнаружения и сопровождения воздушных объектов

Исходные данные: Наземная РЛС должна обеспечивать поиск целей в секторе по азимуту $\Phi_{\text{АЗ}}$ и по углу места $\Phi_{\text{УМ}}$, обнаружение и автоматическое сопровождение цели по всем координатам. Обнаружение целей с ЭПР $\sigma_{\text{ЭФФ}}$ на максимальной дальности $D_{\text{МАКС}}$ должно обеспечивать с вероятностью ложной тревоги $P_{\text{ЛТ}}$ и вероятностью правильного обнаружения $P_{\text{ПО}}$. Реальная разрешающая способность по дальности – $\delta(D)$, по углу места – $\delta(\beta)$, по азимуту – $\delta(\alpha)$.

В режиме поиска РЛС должна осуществлять строчный обзор пространства с максимальным периодом обзора менее 7 с. Для режима сопровождения должна быть разработана либо моноимпульсная (МИ) система автоматического сопровождения по направлению (АСН), либо система АСН с коническим сканированием (КС). Цифровые значения параметров приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 — Исходные данные для расчета РЛС обнаружения и сопровождения

№ вар.	$\Phi_{\text{АЗ}}$, град	$\Phi_{\text{УМ}}$, град	$\sigma_{\text{ЭФФ}}$, м ²	$D_{\text{МАКС}}$, км	$P_{\text{ПО}}$	$P_{\text{ЛТ}}$	$\delta(D)$, м	$\delta(\beta)$, град	$\delta(\alpha)$, град	Вид АСН
1	110	20	19	80	0,97	10^{-2}	100	2,5	1,6	МИ
2	60	30	20	50	0,93	10^{-3}	90	2,3	1,4	КС
3	70	25	26	120	0,87	10^{-4}	110	2,0	1,8	МИ
4	80	20	30	150	0,95	10^{-3}	160	2,4	1,2	КС
5	40	60	22	70	0,96	10^{-2}	80	1,8	1,4	МИ
6	70	40	17	30	0,88	10^{-4}	70	2,6	1,8	КС
7	90	30	20	90	0,92	10^{-3}	120	2,8	1,2	МИ
8	100	20	28	50	0,96	10^{-2}	90	2,5	1,4	КС
9	70	40	25	70	0,88	10^{-4}	100	2,0	1,2	МИ
10	60	35	18	60	0,93	10^{-3}	70	2,6	1,6	КС

Задание: Разработать структурную схему наземной РЛС. Обосновать и выбрать метод измерения дальности и угловых координат, рабочую длину волны, вид и параметры зондирующего сигнала. Рассчитать период длительности и скважность зондирующего сигнала; период и скорость обзора пространства при поиске и сопровождении цели, время облучения и число накапливаемых импульсов; эффективную площадь, КНД, КПД, ширину ДН, и размеры антенны по азимуту и углу места; пороговую мощность на входе приемника с учетом схемы обработки сигнала и фильтрации, коэффициента различимости, потерь при обработке и индикации; вид, параметры индикатора поиска и индикатора сопровождения; размеры элементов разрешения и ЭПР гидрометеоров, случайные, систематические и результирующие погрешности измерения координат целей при аналоговом и цифровом определении координат, и минимальную импульсную и среднюю мощность передатчика РЛС. Применить методы подавления отражений от осадков и улучшения условий обнаружения цели в дождях.

1.10. Тема № 0 — Береговая навигационная РЛС

Исходные данные: РЛС предназначена для проводки судов по каналам и фарватерам при входе в порт, а также в акватории порта. Береговая РЛС должна обладать повышенной разрешающей способностью по дальности $\delta(D)$ и по азимуту — $\delta(\alpha)$ для обеспечения различимости судов, близко расположенных друг к другу. Для этого рабочая длина волны береговых РЛС выбирается в диапазонах (17...19) мм или (8,3...8,9) мм, длительности зондирующих импульсов — менее 0,2 мкс.

РЛС должна обеспечивать обнаружение судов с ЭПР — $\sigma_{\text{ЭФФ}}$ на максимальной дальности — $D_{\text{МАКС}}$ в зоне обзора по азимуту — $\Phi_{\text{АЗ}}$ с вероятностью правильного обнаружения не менее $P_{\text{ПО}}$ и вероятностью ложной тревоги $P_{\text{ЛТ}}$ в условиях осадков интенсивностью — I . Высота установки антенны РЛС — $h_{\text{А}}$. Цифровые значения указанных параметров приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10 — Исходные данные для расчета береговой РЛС

№ вар.	$\delta(D)$, м	$\delta(\alpha)$, град	$\sigma_{\text{ЭФФ}}$, м ²	$D_{\text{МАКС}}$, км	$\Phi_{\text{АЗ}}$, град	$P_{\text{ПО}}$	$P_{\text{ЛТ}}$	I , мм/час	$T_{\text{ОБЗ}}$, с	$h_{\text{А}}$
1	30	0,34	20	30	180	0,86	10^{-4}	16	5,0	9
2	18	0,40	50	25	120	0,93	10^{-3}	4	4,0	10
3	20	0,32	37	27	100	0,85	10^{-4}	8	4,5	14
4	25	0,30	24	33	90	0,94	10^{-3}	16	3,8	11
5	36	0,38	45	40	140	0,92	10^{-3}	4	4,0	7
6	30	0,44	35	28	180	0,85	10^{-4}	16	3,6	12
7	35	0,34	28	36	100	0,90	10^{-2}	4	5,0	9
8	28	0,42	41	24	140	0,94	10^{-3}	8	3,0	10
9	32	0,36	26	38	120	0,91	10^{-2}	16	4,0	8
10	26	0,32	39	22	90	0,92	10^{-4}	4	3,5	12

Задание: Разработать структурную схему береговой РЛС. Обосновать и выбрать рабочую длину волны, метод измерения дальности и угловых координат положения объектов. Рассчитать период, длительность и форму зондирующих сигналов; параметры обзора, период и скорость обзора пространства, время облучения цели, число накапливаемых сигналов, эффективную площадь, КНД, КПД, ширину ДН и вид поляризации антенны, пороговая мощность на входе приемника с учетом выбора ее схемы, вида обработки и фильтрации сигнала, коэффициента различимости, потерь при обработке и индикации; вид и параметры индикатора, размеры элемента разрешения и ЭПР подстилающей поверхности при высоте морского волнения 1 метр, мощность передатчика; случайные систематические и результирующие погрешности измерения дальности и азимута при аналоговом и цифровом измерении координат.

Предложить методы снижения мощности передатчика и подавление мешающих отражений от подстилающей поверхности.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОСИСТЕМ

Методика расчета основных технических характеристик радиоэлектронных систем достаточно хорошо разработана и представлена технической литературе. Наиболее последовательно эта методика изложена в [5], но учитывая, что эта литература в последние годы не переиздавалась, можно воспользоваться пособием [7]. Обширный объем справочных данных для расчета параметров радиосистем приводится в [11]. Описание принципов действия и структурные схемы типовых РЛС рассмотрены в целом ряде учебников [2,3,4,6].

Приступая к курсовому проектированию по радиоэлектронным системам необходимо уяснить его следующие особенности:

- системное проектирование отличается сложной взаимозависимостью большого числа параметров, которыми описывается РЭС, поэтому при проектировании разработчику приходится многократно корректировать первоначально рассчитанные параметры;

- не всегда разработчику удастся полностью выполнить все требования заказчика, при этом он должен представить несколько вариантов разрабатываемой системы или предложить возможные пути её модернизации.

В процессе выполнения курсовой работы целесообразно воспользоваться следующей обобщенной методикой расчета основных технических показателей разрабатываемой радиосистемы [5,7].

2.1. Определение рабочей длины волны РЛС

Выбор рабочей длины волны производится из условий обеспечения следующих основных характеристик системы:

- максимальной дальности действия РЛС, которая снижается при укорочении длины волны из-за возрастания поглощения энергии радиоволн в реальной атмосфере (тумане, осадках, парах воды и кислороде воздуха).

- разрешающей способности системы по угловым координатам и погрешности измерения угловых координат. Эти параметры во многом определяются шириной диаграммы направленности антенны, которая сужается при укорочении длины волны.

При этом необходимо учитывать взаимосвязь этих условий. Рабочая длина волны определяет размеры антенны РЛС при заданной ширине диаграммы направленности и коэффициенте направленного действия антенны. Поэтому на более коротких волнах проще реализуется как более высокая угловая разрешающая способность РЛС, так и точность определения угловых координат. Однако при укорочении длины волны с одной стороны, возрастает поглощающее и рассеивающее действие гидрометеоров (дождь, снег, облака) и затухание в атмосфере, а с другой стороны, при сохранении размеров антенны сужается диаграмма направленности, что приводит к увеличению дальности обнаружения вследствие увеличения КНД антенны.

При необходимости увеличения дальности действия РЛС обычно стремятся выбрать максимально допустимый размер антенны и минимальную рабочую длину

волны. При этом студент должен учитывать, что геометрические размеры антенн наземных РЛС управления воздушным движением в азимутальной плоскости достигают 15 м, но в большинстве случаев не превышают (4...8) м, для корабельных обзорных РЛС — (1,5...3) м, а для самолетных РЛС — менее 1,5 м.

Необоснованное увеличение размеров антенн, при выполнении курсовой работы недопустимо.

При определении рабочей длины волны и затухания энергии радиоволн в атмосфере, можно воспользоваться методикой [5,7]. Следует учитывать, что для РЛС ближней радиолокации Международный союз электросвязи разрешает применение следующих диапазонов длин волн: (21,4...24,8) см, (8,1...11,1) см, (5,1...5,7) см; (2,8...3,5) см. Перспективны для использования на сверхмалых дальностях также диапазоны: (1,7...1,9) см; (8,3...8,9) мм, (4,05...4,11) мм.

2.2. Выбор вида зондирующего сигнала и расчет его параметров

В большинстве проектируемых РЛС используется импульсный метод измерения дальности. Период следования импульсов вычисляется из условия однозначного измерения максимальной дальности до обнаруживаемого объекта. а длительность зондирующего импульса определяется заданной разрешающей способностью по дальности и минимальной дальностью обнаружения цели РЛС.

Если не обеспечивается требование заданной разрешающей способности, следует применять дополнительную внутриимпульсную модуляцию с последующим сжатием отклика в приемнике.

2.3 Расчет характеристик обзора пространства

В соответствии с заданием на курсовое проектирование должен быть сделан выбор вида обзора пространства, для которого последовательно следует определить [3,4,5]: период обзора, угловую скорость вращения антенны, время облучения цели, число накапливаемых импульсов. На этом этапе расчета должны быть окончательно определены: период послылки зондирующих импульсов, ширина диаграммы направленности, КПД, КНД, а так же размеры и эффективная площадь антенны.

В случае если темой курсовой работы является создание РЛС поиска и сопровождения целей, то необходимо произвести расчет параметров обзора, как для режима поиска, так и для режима сопровождения целей.

Следует обратить внимание на то, что число накапливаемых импульсов в пачке в режиме обзора не должно быть меньше 10. В противном случае это приводит к ухудшению параметров обнаружения и к необоснованному увеличению мощности передатчика.

2.4. Определение эффективной площади рассеяния объектов

Эффективная площадь рассеяния (ЭПР) объектов характеризует их отражающие свойства, которые зависят от длины волны РЛС, конфигурации и размеров цели, направления облучения. Точный учет этих факторов возможен только для сосредоточенных целей простой формы (шар, полуволновый вибратор, уголкового отражатель и др.). ЭПР сложных объектов, к которым относится подавляющее большинство реальных целей, определяется экспериментальным путем и описывается стати-

стически. Для сосредоточенных целей (самолет, корабль и т.п.) составлены таблицы средних ЭПР для различных диапазонов волн [3,4,5].

При определении ЭПР распределенных целей (подстилающая земная или морская поверхность, дождевой фронт, облако рассеянных отражателей и другие виды пассивных помех) необходимо, прежде всего, определить размер элемента поверхностного и объемного разрешения, а затем, используя среднее значение удельной ЭПР данной поверхности или среды [5,11] определить результирующую эффективную площадь рассеяния. При определении ЭПР распределенных объектов необходимо выбрать наилучший вид поляризации излучения. Если ЭПР сосредоточенной цели меньше ЭПР пассивной помехи, то она не может быть обнаружена на фоне такой помехи, и необходимо корректировать длительность импульса или ширину диаграммы антенны.

2.5 Определение пороговой мощности радиоприемного устройства РЛС

Расчет пороговой мощности приемника РЛС производится с учетом заданных вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги. Сначала необходимо определить требуемое отношение сигнал/шум на входе приемника, обеспечивающее заданные вероятности правильного обнаружения сигнала и ложной тревоги с учетом объема пачки отраженных импульсов [3,4,5].

После этого производится расчет потерь при обработке сигнала, которые обусловлены потерями в антенне, в высокочастотном тракте, из-за расстройки частоты сигнала и рабочей частоты приемника, не оптимальности согласования спектра сигнала и характеристик фильтра, потерями в детекторе и видеоусилителе. После проведения указанных вычислений с учетом выбора первых каскадов приемника рассчитывается мощность шумов и пороговая мощность сигнала на входе приемника.

Необходимо учитывать, что если время накопления сигналов превышает период обзора, то при последующей обработке удастся накопить несколько пачек импульсов и пропорционально увеличить отношение сигнал – шум.

2.6. Расчет разрешающей способности РЛС

На этом этапе работы необходимо с учетом вида зондирующего сигнала определить разрешающую способность по дальности, угловому положению и, в случае необходимости, скорости. Если полученное значение превышает реальную разрешающую способность, определенную заданием на проектирование, необходимо либо изменить длительность сигнала, либо применить для измерения сложный сигнал (ЛЧМ, ФМн и т.п.).

Далее необходимо с учетом специфики разрабатываемой РЛС выбрать схему измерения и вид индикаторного устройства. С учетом этого выбора рассчитать реальную разрешающую способность системы. Наибольшее предпочтение рекомендуется отдавать цифровым методам измерения дальности, скорости и углового положения объектов.

В случае, если разрешающая способность, полученная в результате расчета, оказывается больше заданной, необходимо применить многошкальный метод измерения с разбивкой на диапазоны. При использовании в качестве индикаторов электронно-лучевых трубок (ЭЛТ) в этом случае можно применить изменение масштаба,

раздвижку центра, переход от круговой развертки к секторной или прямоугольной. Разрешающую способность следует рассчитать для всех шкал дальности и масштабов измерения.

2.7. Расчет точности измерения радиотехнической системы

Потенциальная погрешность измерения координат и параметров движения объектов рассчитывается с учетом отношения сигнал-шум на входе измерительного устройства. Если в процессе расчета не удастся обеспечить заданную точность измерения, а все возможности исчерпаны, допускается при соответствующем обосновании снизить точность измерения.

Реальная точность измерения должна учитывать систематические и случайные ошибки аппаратуры измерения, а также ошибки, зависящие от условий распространения радиоволн в реальной атмосфере.

В случае если аппаратурные ошибки превосходят заданные, необходимо применять многоканальные методы отсчета с изменением масштаба. Погрешность измерения необходимо рассчитать для аналоговой и цифровой схем, а затем сравнить полученные результаты.

Не следует применять устаревшие виды индикаторов на ЭЛТ с линейной и кольцевой развертками, а также с механическим визиром.

2.8. Расчет энергетических характеристик радиосистемы

Этот расчет является завершающим этапом работы и включает в себя результаты всех ранее выполненных вычислений. Целью его является определения с помощью основных уравнений дальности минимальной импульсной и средней мощности передатчика РЛС, обеспечивающей обнаружение целей на максимальной дальности. Расчет необходимо производить с учетом поглощения радиоволн в реальной атмосфере и осадках с учетом их пространственной неравномерности. Пространственный размер ячейки дождя для Европейского региона обычно не превышает 150 км — для осадков интенсивностью 4 мм/ч; 40 км — для 16 мм/ч; 15 км — для 28 мм/ч.

В результате выполнения расчета должны быть даны рекомендации по снижению мощности передатчика за счет повышения помехоустойчивости, кодирования, выбора вида поляризации излучения и других факторов.

Нами рассмотрена типовая методика проектирования РЛС, однако при выполнении курсового проекта возможны отклонения от нее. Например, в некоторых вариантах задана импульсная мощность передатчика и требуется рассчитать максимальную дальность действия системы; задана длина волны РЛС и ее выбор не требуется; расчет разрешающей способности по скорости не предусматривается.

Однако при проектировании студент должен остановиться на этих вопросах и сделать заключение о целесообразности изменения рабочей длины волны, способа измерения или разрешения объектов по скорости.

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: Навч. посібник/ за ред. Ю.Л. Мазора, Є.А. Мачунського, В.І. Правди. — К.: Вища шк., 1999. — 838 с.
2. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов / Бакулев П.А. — М.: Радиотехника, 2005. — 320 с.
3. Радиотехнические системы: Учебник для вузов /Под ред. Ю.М. Казаринова. — М.: Высшая школа, 1990. — 496 с.
4. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации: Учебник для вузов. — М.: Радио и связь, 1983. — 536 с.
5. Васин В.В. Справочник-задачник по радиолокации / В.В. Васин, Б.М. Степанов. — М.: Сов. радио, 1977. — 320 с.
6. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения) /Под ред. В.В. Григорина-Рябова — М.: Сов. радио, 1970. — 680 с.
7. Лукьянчук А.Г. Основы проектирования радиоэлектронных систем / А.Г. Лукьянчук — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011 — 60 с.: ил.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

8. Бакулев П.А. Радиолокационные и радионавигационные системы: Учеб. пособие для радиотехн. спец. вузов / П. А.Бакулев, А.А. Сосновский — М.: Радио и связь, 1994. — 295 с.
9. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы: Учебное пособие для вузов / В.А. Чердынцев — Мн.: Выш. шк., 1988. — 369 с.
10. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов / Под ред. А.И. Дымовой. — М.: Сов. радио, 1975. — 440 с.
11. Справочник по радиолокации /Под ред. М. Сколника (в четырёх томах) — М.: Сов. радио, 1976 — 78. — 1520 с.
12. Дуров А.А. Судовые радиолокационные системы и САРП: Учебник для вузов / А.А. Дуров, В.С. Кан, Н.Т. Ничипоренко, Ю.М. Устинов. — Петропавловск-Камчатский, КГТУ, 2005. — 280 с.
13. Жерлаков А.В. Радиолокационные системы предупреждения столкновения судов / А.В. Жерлаков — Л.: Судостроение, 1981. — 200 с.
14. Авиационная радиолокация. Справочник / Под ред. П.С. Давыдова. — М.: Транспорт, 1984.— 223 с.
15. Бакулев П. А. Методы и устройства селекции движущихся целей / П.А. Бакулев, В.М. Степин В. М. — М.: Радио и связь, 1986. — 286 с.
16. Кузьмин С. З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин — М.: Радио и связь, 1986. — 351 с.
17. Леонов А. И. Моноимпульсная радиолокация / А.И. Леонов, К.И. Фомичев — М.: Радио и связь, 1984. — 312 с.
18. Казаков В.Д. Радиоэлектронные средства систем управления ПВО и ВВС / В.Д. Казаков Ф.Г. Матошин, М.П. Бобнев. — М.: Воениздат., 1987. — 216 с.
19. Проектирование радиолокационных приемных устройств: Учеб. пособие / Голубков А. П., Далматов А. Д. и др. — М.: Высш. шк., 1984. — 335 с.
20. Вамберский М.В. Передающие устройства СВЧ / М.В. Вамберский, В.И. Казанцев, С.А. Шелухин — М.: Высш. шк. 1984. — 448 с.

Заказ № _____ от " ____ " _____ 2011 г. Тираж _____
Издательство СевНТУ