

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго–Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


« 15 » 2021


**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ СЕТИ
СОТОВОЙ СВЯЗИ**

Методические указания
по выполнению практических работ
по курсу «Проектирование сетей сотовой связи»
для студентов направления подготовки 11.03.02

Курск 2021

УДК 621.3.095

Составитель А.Е.Севрюков

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *В.Г. Андронов*

Определение параметров оборудования сети сотовой связи:
методические указания по выполнению практических работ по курсу
«Проектирование сетей сотовой связи» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.
А.Е.Севрюков. Курск, 2021. 14 с.

Содержат методические указания по выполнению практических работ «Определение параметров оборудования сети сотовой связи» по курсу «Проектирование сетей сотовой связи».

Методические указания соответствуют требованиям типовой программы, по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», рабочей программы дисциплины «Проектирование сетей сотовой связи».

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.02 заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать *15.03* Формат 60x841/16.

Усл. печ. л. 0,81. Уч.-изд. л.0,74. Тираж 100 экз. Заказ *423*. Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Введение

Сотовые системы радиосвязи (ССР) в их современном виде начали активно развиваться как в мире, так и в нашей стране, начиная примерно с середины 80-х годов XX-го века, пройдя при этом относительно непродолжительный период, но при этом совершив достаточно динамичное становление. В настоящий момент ССР с точки зрения практических достижений находятся на этапе 3-4-го поколения и являются важной составляющей инфраструктуры связи национального, международного и глобального уровня. Роль ССР в создании так называемого инфокоммуникационного общества, главной сущностью которого является информационная глобальность, будет неуклонно расти.

Очевидно, что это обусловлено существенными достоинствами ССР, в числе которых одним из наиболее практически важных является обеспечение высоких потребительских свойств услуг связи, предоставляемых с помощью ССР абонентам. К числу таковых следует отнести высокие технические и технико-экономические показатели ССР, проявляющиеся в предоставлении широкого спектра услуг связи (голосовая связь, передача данных: короткие сообщения (SMS), мультимедийные сообщения (MMS), доступ в Интернет и т.д.) в сочетании с высоким качеством и надежностью связи при относительно невысоких тарифах.

Следует отметить некоторые особенности развития ССР, характерные в целом для систем связи, как в настоящий период, так и на длительную перспективу. Во-первых, принято все существующие ССР, как в прочем и все системы радиосвязи, разделять на две группы: подвижные и фиксированные [1]. При этом в качестве критерия классификации используется признак привязки средства радиосвязи к точке пространства (может перемещаться или нет). Поскольку уже в настоящее время этот признак стал практически мало значимым и в будущем главнейшим требованием абонента несомненно будет являться максимальная мобильность (как локальная, так и глобальная), то данное деление ССР вообще теряет смысл. Во-вторых, объективные процессы интеграции и конвергенции систем связи также указывают на то, что ССР становятся универсальными как по функциям (многофункциональными, интегрированными, мультисервисными), по практически унифицированным используемым методам передачи информации, так и по стандартизированной элементной базе.

Вместе с тем проектирование ССР, в которых используются современные и передовые технологии, при необходимых ограничениях, представляет актуальную и достаточно сложную техническую задачу, так как реализация потенциальных возможностей дорогостоящего оборудования ССР во многом зависит от конкретных условий ее применения.

В свою очередь, последние должны быть определены оптимальным образом, на основе научно обоснованной методики. Следует, однако, отметить, что в практике проектирования систем связи, вообще, и систем радиосвязи, в

частности, полностью оптимальное проектирование не применяется, что оправдывается существенным упрощением получения технологического процесса.

В данной и последующих методических рекомендациях предложена и приводится в практическом виде методика подоптимального проектирования, в основе которой заложен системный подход при расчете главнейших показателей функционирования ССР, таких как параметры частотно-территориального планирования всей структуры сотовой сети радиосвязи, то есть собственно сотовой инфраструктуры и сети соединительных линий между элементами этой структуры, и энергетические параметры радиооборудования, используемого для организации связи в рассматриваемой ССР.

1. Принципы и методы организации сотовых систем радиосвязи (ССР)

Мобильная связь организуется с помощью систем сотовой радиосвязи (ССР). Современные ССР обеспечивают мобильность абонента практически по всему земному шару.

Структура современной ССР показана на рис.1.1. Ее основными элементами являются: территория обслуживания (ТО), соты, базовые станции (БС), центральной станции (ЦС), выполняющей функции центра коммутации и обслуживания, соединительные линии (СЛ), мобильные абонентские станции (АС).

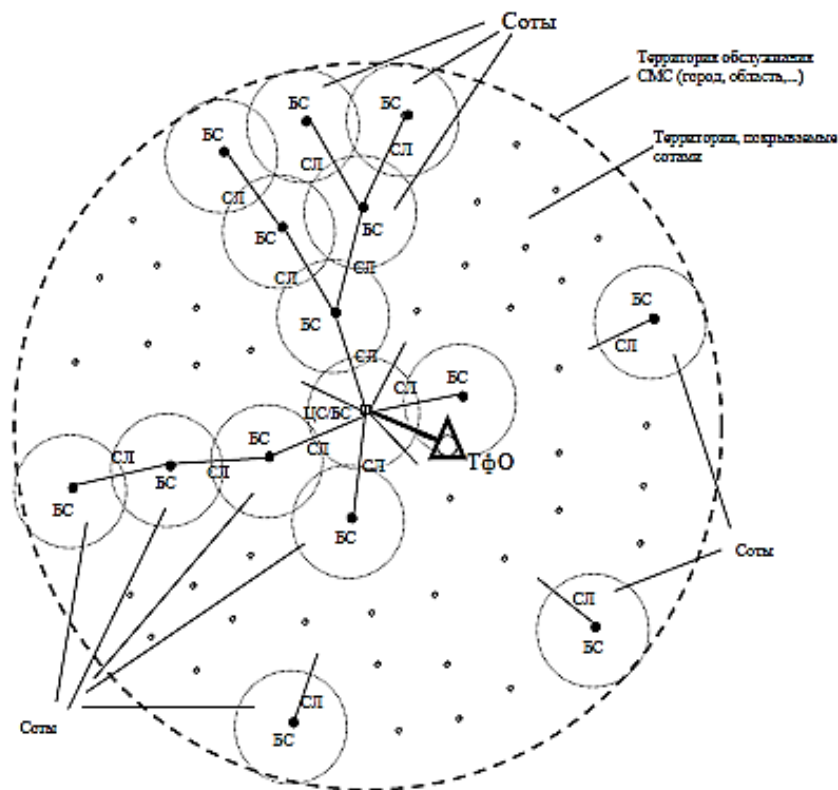


Рисунок 1 - Общая структура сотовой системы радиосвязи

Вся ТО покрывается отдельными сотами, представляющими локальные зоны обслуживания небольшой территории в пределах этой соты. Сота формируется радиопокрытием БС, приемопередающая антенна которой имеет круговую диаграмму направленности. БС всех сот соединяются посредством соединительных линий (СЛ) с ЦС, который, в свою очередь, подключается к телефонной сети общего пользования ТфОП, к другим ССР, к ЦСИО и другим сетям связи. Таким образом, весь объем информации (трафик) проходит через ЦС и там контролируется. Одной из основных функций ЦС является маршрутизация входящих и исходящих сообщений абонентов.

АС (точнее абонент) может свободно перемещаться из соты в соту, благодаря применению процедуры *хэндовера* (ведения абонента, эстафетной передачи абонента). Управляет этой процедурой также ЦС. Когда абонент с АС перемещается на территорию обслуживания другой ССР, ему также обеспечивается связь, благодаря применению в ССР процедуры *роуминга* - временную передачу зарегистрированного абонента под контроль посещаемой им ССР, в которой он автоматически регистрируется как визитер (гость, посетитель) в специальной базе данных (БД) - гостевом регистре местоположения. ЦС своей (домашней) ССР уведомляется о роуминге абонента для учета этого как дополнительной услуги. В домашней ССР абонент постоянно зарегистрирован в БД, называемой домашним регистром местоположения.

В оборудовании ЦС имеется автоматическая система тарификации (биллинговая система), которая производит непрерывной контроль соединений каждого абонента и начисляет каждому плату за предоставленные услуги связи.

Отличительной особенностью сотовых СМС является повторное использование рабочих частот, что позволяет существенно (теоретически - до бесконечности) повышать емкость системы при работе в фиксированной полосе радиочастот. При этом в соседних сотах используются разные частоты, а через несколько сот эти частоты могут использоваться повторно. Группа разных частот, используемых в смежных сотах, представляет собой частотный кластер, а число частот в такой группе называется размерностью кластера $N_{кл}$. Для получения однородного распределения рабочих частот в пределах ТО размерность кластера должна выбираться из определенного ряда (ромбические числа): $N_{кл} = 3; 7; 13; 21...$. При этом следует иметь в виду, что увеличение $N_{кл}$ уменьшает эффективность сотовой ССР и, поэтому, на практике ограничиваются обычно первыми тремя значениями. БС, на которых допускается повторное использование рабочих частот, должны быть удалены друг от друга на некоторое расстояние $R_{бс}$, которое определяется соотношением $R_{бс} = R_c \sqrt{3N_{кл}}$, где R_c - радиус соты.

Чем больше $R_{бс}$, тем меньше уровень соканальных помех, возникающих от передатчиков других сот работающих на совпадающих частотах. В однородной сотовой ССР при расчете показателей ее работы принимается, что максимальное число соканальных помех равно 6 (хотя реальное число их

больше, но все помехи кроме 6 наиболее близких имеют значительно меньшие уровни и их в общем случае не учитывают).

Эффективным способом снижения общего уровня помех, воздействующих на определенную БС, является секторирование сот за счет применения направленных секторных антенн вместо одной всенаправленной с круговой диаграммой направленности антенны (ДНА). Обычно используется секторирование на 3 или 6 секторов соответственно применением антенн с шириной ДНА 120° и 60° . При использовании 3-х секторных сот число мешающих сигналов уменьшается в 3 раза, а при 6-ти секторных - в 6 раз.

Практическое занятие №1

Определение параметров приемника базовой станции (БС) сотовой связи

Цель практических занятий:

Обучить студентов принципам расчета и построения систем сотовой связи GSM, подготовить их к выполнению расчетно-графических работ по данной дисциплине.

Таблица 1.1 - Исходные данные (последняя цифра зачетной книжки)

	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Средняя частота приема, МГц,	915	900	890	905	910	908	910	908	912	895
Волновое сопротивление антенно-фидерного тракта, $W_{пр}$ Ом	50	75	50	75	50	75	50	75	50	75
Чувствительность приемника, $\gamma_{пр}$ мкВ	0,35	0,30	0,25	0,40	0,40	0,38	0,25	0,45	0,35	0,35
Отношение сигнал/шум на выходе приемника, $(S/N)_{вых}$ дБ	12	10	11	13	14	15	16	10	11	13
Коэффициент усиления по мощности приемной антенны, $G_{прм}$ дБ	7,3	8,0	7,0	7,5	8,5	8,1	7,6	7,7	8,2	7,8
Затухание в кабеле, $(\alpha \cdot l)_{пр}$ дБ	3,4	3,5	4,0	2,8	2,9	3,6	3,3	4,1	3,8	2,9
Затухание в дуплексном фильтре $\alpha_{ду}$, дБ	0,80	0,90	1,00	0,65	0,70	0,92	0,75	0,85	0,95	1,1
Коэффициент усиления устройства разделения, $G_{ур}$ дБ	2,00	2,10	2,30	1,90	1,95	2,11	1,96	2,2	1,80	2,15
Уровень помех, рекомендуемый для расчета (показатель помеховой обстановки), мкВ/м	1,50	1,51	1,49	1,52	1,53	1,48	1,50	1,53	1,48	1,54
Коэффициент направленного действия антенны БС, дБ	3,4	3,2	3,1	3,5	4,0	3,8	3,7	3,3	3,6	4,1
Девияция частоты, кГц	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Задание: Определение параметров приемника базовой станции (БС) сотовой связи:

Рассчитать затухание сигнала на прием в антенно-фидерном тракте БС.

Рассчитать КПД антенно-фидерного тракта приемной антенны БС

Определить действующую длину приемной антенны БС

Рассчитать отношение сигнал/шум на входе приемника, соответствующее заданному отношению на выходе

Определить уровень собственных шумов, приведенных к входу приемника

Рассчитать уровень собственных шумов приемника, приведенных к точке приема

Определить уровень внешних шумов в точке приема

Определить уровень суммарного шума в точке приема

Методические указания для выполнений задания

1.1. Рассчитаем затухание сигнала на прием в антенно-фидерном тракте БС по формуле

$$\alpha_{\text{АФТ}} = \alpha_{\text{ДУ}} + (\alpha \cdot l)_{\text{ПР}} - G_{\text{УР}}, \text{ дБ}, \quad (1.1)$$

где $\alpha_{\text{ДУ}}$ – затухание в дуплексном фильтре, дБ;

$(\alpha \cdot l)_{\text{ПР}}$ – затухание в кабеле, дБ;

$G_{\text{УР}}$ – коэффициент усиления устройства разделения, дБ.

1.2. Произведем расчет КПД антенно-фидерного тракта приемной антенны БС по формуле

$$\eta_{\text{АФТ}} = 10^{-0,1 \cdot \alpha_{\text{АФТ}}}, \quad (1.2)$$

1.3. Действующая длина приемной антенны БС рассчитывается по формуле:

$$l_{\text{Д}} = \frac{\lambda_{\text{АС-БС}}}{2\pi} \sqrt{\frac{1,64 \cdot G_{\text{ПР}} \cdot W_{\text{ПР}} \cdot \eta_{\text{АФТ}}}{120}}, \text{ м} \quad (1.3)$$

где $\lambda_{\text{АС-БС}} = \frac{c}{f}$ – длина волны на прием БС, м;

$G_{\text{ПР}} = 10^{0,1 \cdot G_{\text{ПР}}[\text{дБ}]}$ – коэффициент усиления по мощности приемной антенны БС, отн. ед;

$W_{\text{ПР}}$ – волновое сопротивление антенно-фидерного тракта БС, Ом.

1.4. Отношение сигнал/шум на входе приемника, соответствующее заданному отношению на выходе определяется формулой

$$(S/N)_{\text{ВХ}} = \frac{(S/N)_{\text{ВЫХ}} \cdot F_{\text{МАХ}}}{\Delta f \cdot \sqrt{3}}, \text{ отн. ед.} \quad (1.4)$$

где $(S/N)_{\text{ВЫХ}} = 10^{0,05 \cdot (S/N)_{\text{ВЫХ}}[\text{дБ}]}$ – отношение сигнал/шум на выходе приемника, отн. ед.;

$F_{\text{МАХ}} = 3,4$ – максимальная звуковая частота модуляции, кГц;

Δf – девиация частоты, кГц.

В связи с тем, что нужно учитывать запас на ретрансляцию, величину $(S/N)_{\text{ВХ}}$ [дБ] нельзя принимать менее 8 дБ (2,51 отн. ед.)

1.5. Уровень собственных шумов, приведенных к входу приемника рассчитаем по формуле

$$U_{\text{Шпр}} = \frac{\gamma_{\text{пр}}}{(S/N)_{\text{ВХ}}}, \text{ В} \quad (1.5)$$

где $\gamma_{\text{пр}}$ – чувствительность приемника, мкВ;

$(S/N)_{\text{ВХ}}$ – отношение сигнал/шум на входе приемника, отн. ед.

1.6. Уровень собственных шумов приемника, приведенных к точке приема определяется формулой:

$$N_{\text{СОБпр}} = \frac{U_{\text{Шпр}}}{l_{\text{д}}}, \text{ мкВ/м} \quad (1.6)$$

1.7. Определим уровень внешних шумов в точке приема

$$N_{\text{ВНЕШпр}} = \frac{E_{\text{ПОМ}}}{\sqrt{D_{\text{пр}}}}, \text{ мкВ/м} \quad (1.7)$$

где $E_{\text{ПОМ}}$ – уровень помех, рекомендуемый для расчета (показатель помеховой обстановки), мкВ/м;

$D_{\text{пр}} = 10^{0,1 \cdot D_{\text{пр}}[\text{дБ}]}$ – коэффициент направленного действия антенной системы БС, отн. ед.

1.8. Уровень суммарного шума в точке приема определяется по формуле:

$$N_{\text{ΣШ}} = 10 \lg(N_{\text{СОБпр}}^2 + N_{\text{ВНЕШпр}}^2), \text{ дБ} \quad (1.8)$$

Форма отчетности по практической работе

По результатам выполнения практической работы в отчете нужно представить:

– ФИО студента и номер зачетной книжки

– данные для расчета, взятые из таблицы исходных данных по форме,

представленной ниже:

Средняя частота приема, МГц,	.....
Волновое сопротивление антенно-фидерного тракта, $W_{\text{пр}}$ Ом	.....
Чувствительность приемника, $\gamma_{\text{пр}}$ мкВ	.....
Отношение сигнал/шум на выходе приемника, $(S/N)_{\text{ВЫХ}}$ дБ	.....
Коэффициент усиления по мощности приемной антенны, $G_{\text{прм}}$ дБ	.....
Затухание в кабеле, $(\alpha \cdot l)_{\text{пр}}$ дБ	.....

Затухание в дуплексном фильтре $\alpha_{ду}$, дБ	.....
Коэффициент усиления устройства разделения, $G_{ур}$ дБ	.....
Уровень помех, рекомендуемый для расчета (показатель помеховой обстановки), мкВ/м	.....
Коэффициент направленного действия антенны БС, дБ	.....
Девиация частоты, кГц	.....

а) Ход проведения расчетов.

б) Результаты выполнения практической работы занесенные в таблицу расчетных данных, форма которой приведена ниже:

Затухание сигнала на прием в антенно-фидерном тракте БС	.....
КПД антенно-фидерного тракта приемной антенны БС	.....
Действующая длина приемной антенны БС	.....
Отношение сигнал/шум на входе приемника	.....
Уровень собственных шумов	.....
Уровень собственных шумов приемника	.....
Уровень внешних шумов в точке приема	.....
Уровень суммарного шума в точке приема.....	.....

Практическое занятие №2

Расчёт необходимого уровня напряженности полезного сигнала и дальности связи между АС и БС мобильной связи

Цель практических занятий:

Обучить студентов принципам расчета параметров сети сотовой связи стандарта GSM.

Провести расчёт необходимого уровня напряженности полезного сигнала и дальности связи между АС и БС мобильной связи

Таблица 1 - Исходные данные

Параметры	№ Варианта (сумма двух последних цифр зачетной книжки)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
Затухание в резонаторных, мостовых фильтрах, антенных разделителях и др., α_{Φ} дБ	0,20	0,22	0,19	0,23	0,18	0,24	0,25	0,21	0,19	0,23	
Затухание в неоднородностях антенно-фидерного тракта передачи, $\alpha_{\text{Н}}$ дБ	0,25	0,24	0,18	0,23	0,19	0,22	0,20	0,25	0,24	0,18	
Затухание в фидере передающей антенны, $(\alpha \cdot l)_{\text{ПЕР}}$ дБ	0,60	0,50	0,55	0,62	0,57	0,63	0,65	0,75	0,7	0,6	
Неравномерность диаграммы направленности передающей антенны в горизонтальной плоскости, $\sigma_{\text{АС}}$, $\sigma_{\text{БС}}$ дБ	АС	0	0	0	0,05	0,01	0,08	0	0,01	0,08	0
	БС	1,00	1,10	1,05	0,95	0,98	1,15	0,99	1,00	0,95	1,15
Коэффициент усиления передающей антенны АС, $G_{\text{АС}}$ дБ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Мощность передатчика, Вт	4,0	2,0	3,5	2,5	3,9	2,9	4,2	3,5	3,8	2,7	
Уровень суммарного шума приемника БС, $N_{\text{Ш БС}}$ дБ	4,0	3,5	2,5	3,9	5,0	5,1	4,7	5,0	5,1	4,7	
Среднее колебание местности, м	50	60	70	100	90	110	120	80	70	100	
Высота подвеса антенны БС→АС, м	100	120	90	150	130	170	150	110	90	150	

Отношение сигнал/шум на входе приемника (S/N) _{ВХ БС} дБ	8	9	12	11	13	10	9,5	10	11	13
---	---	---	----	----	----	----	-----	----	----	----

Примечание. Вариант выбирается по последней цифре суммы двух последних цифр номера зачетной книжки. Например № 15-06 322285, значит $8+5=13$, вариант 3

Методические указания к выполнению задания 2

1. Общее затухание в антенно-фидерном тракте передачи АС определяется формулой:

$$\alpha_{АФТ} = \alpha_{\Phi} + \alpha_{Н} + (\alpha \cdot l)_{ПЕР}, \text{ дБ} \quad (2.1)$$

где α_{Φ} – затухание в фильтрах, антенных разделителях, дБ;

$\alpha_{Н}$ – затухание в неоднородностях АФТ передачи, дБ;

$(\alpha \cdot l)_{ПЕР}$ – затухание в фидере передающей антенны, дБ.

2. Поправка, учитывающая фактическую мощность передатчика АС рассчитывается по формуле:

$$B_{P_{НОМ АС}} = 10 \lg \left(\frac{10^3}{P_{НОМ АС}} \right), \text{ дБ} \quad (2.2)$$

3. Поправка, учитывающая отличие эквивалентной мощности передатчика АС от 1 кВт

$$B_{P_{ЭКВ АС}} = B_{P_{НОМ АС}} + \alpha_{АФТ} - \sigma_{АС} - G_{АС}, \text{ дБ} \quad (2.3)$$

где $\sigma_{АС}$ – неравномерность диаграммы направленности приемной антенны АС в горизонтальной плоскости;

$G_{АС}$ – коэффициент усиления передающей антенны АС, дБ.

4. Поправка, учитывающая отличие высоты антенны АС от высоты 10 м

$$B_{h_{АС}} = 10 \lg \left(\frac{10}{h_{АС}} \right), \text{ дБ} \quad (2.4)$$

5. Поправка, учитывающая отличие реального рельефа от принятого МККР

$$B_{РЕЛЬЕФ} = -4, \text{ дБ}.$$

6. Необходимый уровень напряженности полезного сигнала в точке приема БС

$$E_{НЕОБХ} = N_{Ш БС} + (S/N)_{ВХ БС} + B_{P_{ЭКВ АС}} + B_{h_{АС}} + B_{РЕЛЬЕФ} + B_{\% МЕСТ} + B_{ЗАМ} - \sigma_{БС}, \text{ дБ}, \quad (2.5)$$

где $N_{Ш БС}$ – уровень суммарных шумов приемника БС, дБ;

$(S/N)_{ВХ БС}$ – отношение сигнал/шум на входе приемника БС, дБ;

$V_{\%МЕСТ}$ – поправка, вносимая при необходимости обеспечения связи для процента пункта приема, отличающегося от 50%. Для обеспечения связи в 90% пунктов приема $V_{\%МЕСТ} = -11$, дБ;

$V_{ЗАМ}$ – поправка на быстрые замирания для 90% времени, примем $V_{ЗАМ} = 3,5$, дБ;

$\sigma_{БС}$ – неравномерность диаграммы направленности приемной антенны БС в горизонтальной плоскости.

7. По графику зависимости напряженности поля от расстояния определяем дальность связи R

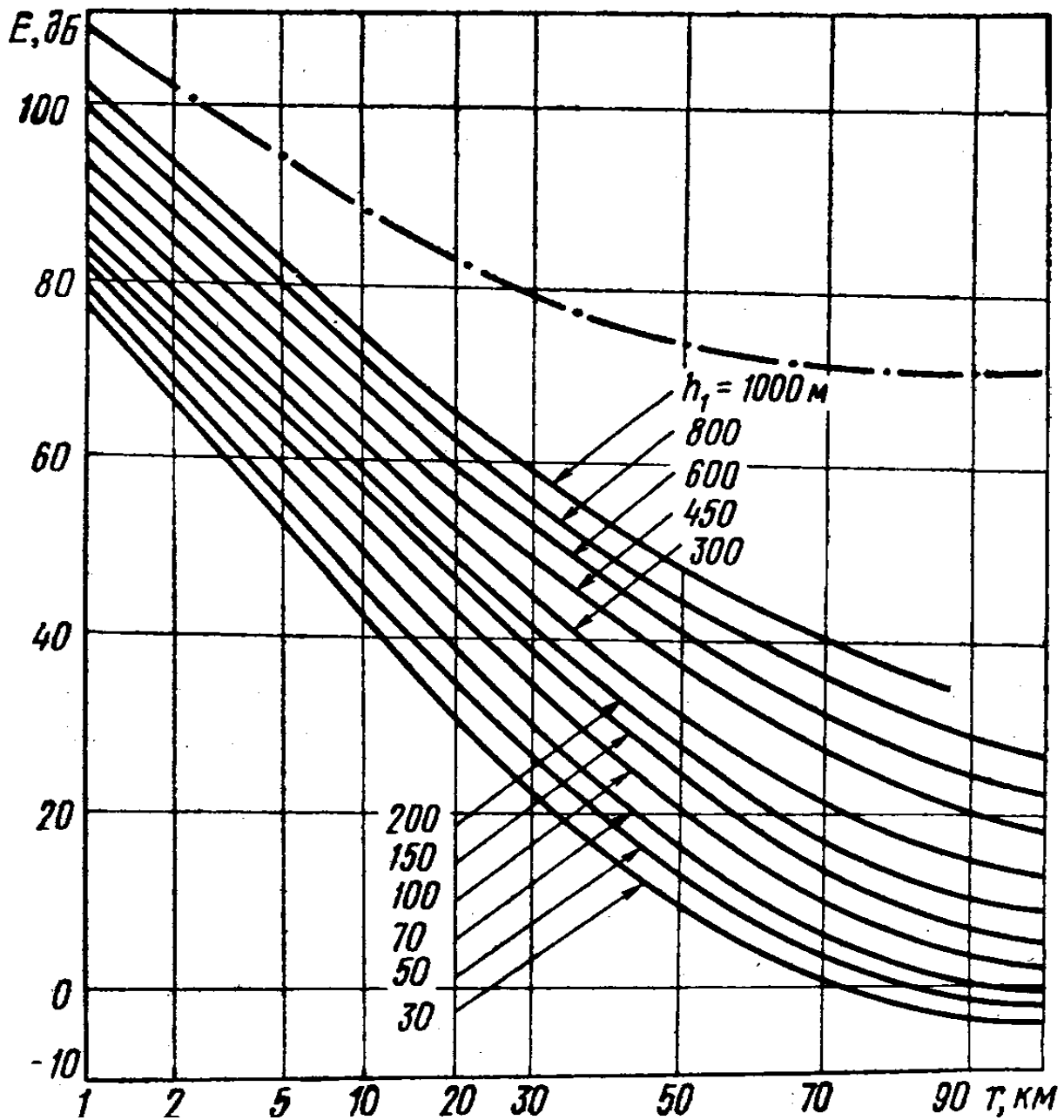


Рисунок 2.1 - График зависимости напряженности поля от расстоя-

ния

Делаем соответствующий вывод о проведенном расчете

Форма отчетности по практической работе

По результатам выполнения практической работы в отчете нужно представить:

– ФИО студента и номер зачетной книжки

– данные для расчета, взятые из таблицы исходных данных по форме, представленной ниже:

Затухание в резонаторных, мостовых фильтрах, антенных разделителях и др., α_{Φ} дБ	.....
Затухание в неоднородностях антенно-фидерного тракта передачи, α_{Π} дБ	.....
Затухание в фидере передающей антенны, $(\alpha \cdot l)_{\text{ПЕР}}$ дБ	.....
Неравномерность диаграммы направленности передающей антенны в горизонтальной плоскости, σ_{AC} дБ	.....
Неравномерность диаграммы направленности передающей антенны в горизонтальной плоскости σ_{BC} дБ	.....
Коэффициент усиления передающей антенны AC, G_{AC} дБ	.....
Мощность передатчика, Вт	.....
Уровень суммарного шума приемника BC, $N_{\text{Ш BC}}$ дБ	.....
Среднее колебание местности, м	.....
Высота подвеса антенны BC→AC, м	.....
Отношение сигнал/шум на входе приемника BC, $(S/N)_{\text{ВХ BC}}$ дБ	.....

в) Ход проведения расчетов.

г) Результаты выполнения практической работы, занесенные в таблицу расчетных данных, форма которой приведена ниже:

Необходимый уровень напряженности полезного сигнала в точке приема BC	.....
Дальность связи R	.....