

## РАСЧЁТ ПРЕДЕЛОВ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ

Михайлов В.С.

Киевская государственная академия водного транспорта

### Abstract

*Mikhajlov V.S. The computation of coverage limits of differential subsystems. The paper is dedicated to definition of quantitative values of action radiuses of correcting stations. The power relations of transmission devices in range of a medium waves are reviewed. The dependence of field intensity for different wave lengths are presented.*

Статья посвящена определению количественных значений радиусов действия контрольно-корректирующих станций в диапазоне средних волн, рассмотрена их зависимость от мощности передающих устройств.

В диапазоне средних волн /СВ/:  $\lambda = 100 \div 1000$  м,  $f = 0,3 \div 3$  МГц.

Напряжённость электрического поля земных волн вертикального компонента для относительно малых расстояний, определяется отношением М.В.Шулейкина и Б. Вандер-Поля [1,2]:

$$E_{м1В} = \sqrt{2} \cdot E_{мсВ} |W|, \quad (1)$$

где

$$E_{мсВ} = \sqrt{60P_{изл} D_{max}} \cdot F(\xi, \theta) / r, \quad (2)$$

$r$  - расстояние связи,  $E_{мсВ}$  - амплитудное значение напряжённости электрического поля в свободном пространстве /В/м/,  $D_{max} = D(\xi_0, \theta_0)$  - максимальное значение диаграммы направленности,  $\xi$  и  $\theta$  - углы наблюдения (излучения), соответственно, в горизонтальной и вертикальной плоскостях,  $\xi_0$  и  $\theta_0$  - углы максимального излучения,

$$F^2(\xi, \theta) = \frac{D(\xi, \theta)}{D_{max}} \quad (3)$$

нормированная диаграмма напряжённости по мощности;  $P_{изл}$  - мощность излучения передатчика в Вт;  $|W|$  - множитель ослабления, являющийся функцией параметра  $\rho$ :

$$\rho = \frac{\pi r \sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + (60\gamma\lambda)^2}}{\lambda \varepsilon^2 + (60\gamma\lambda)^2}, \quad (4)$$

$\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость земной поверхности;  $\gamma$  - проводимость земной поверхности /свм/м/.

Значения  $\varepsilon$  и  $\gamma$  для наиболее типичных видов земной поверхности даны в табл. 1.

Зависимость  $|W|$  от  $\rho$  для

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{60\gamma\lambda}{\varepsilon} > 10 \quad (5)$$

выражена таблицей 2[2].

При этом для  $\rho > 25$  эта зависимость хорошо аппроксимируется соотношением:

$$|W| \approx \frac{1}{\rho} \quad (6)$$

Далее, мощность сигнала на входе приёмника, согласованного с антенной для случая вертикально поляризованных волн равна:

$$P_{\text{пр1В}} = A_{\text{эфф}} \cdot E_{\text{млВ}}^2 / 240\pi, \quad [\text{Вт}], \quad (7)$$

где

$$A_{\text{эфф}} = D_{\text{пр}} \cdot \lambda^2 / 4\pi \quad (8)$$

эффективная площадь приёмной антенны

$$D_{\text{пр}} = D_{\text{max пр}} \cdot F^2(\xi, \theta) \quad (9)$$

Тогда, подставляя (1) в (7), имеем:

$$P_{\text{пр1В}} = D_{\text{пр}} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot 120 P_{\text{изл}} D_{\text{пер}} \frac{|W|^2}{r^2} \cdot \frac{1}{240\pi} = \frac{1}{8\pi^2} \cdot \frac{D_{\text{пр}} D_{\text{пер}} \cdot \lambda^2 P_{\text{изл}} \cdot |W|^2}{r^2} \quad (10)$$

Откуда дальность связи /ККС/ при  $P_{\text{пр1В}} = P_{\text{прmin}}$ :

$$r_c^2 = \frac{1}{8\pi^2} \cdot \frac{P_{\text{изл}}}{P_{\text{прmin}}} \cdot D_{\text{пр}} D_{\text{пер}} \cdot \lambda^2 \rho_{\text{изл}} \cdot |W|^2, \quad (11)$$

где  $P_{\text{прmin}} = P_{\text{пр1В}}/r_{\text{max}}$  - чувствительность приёмника /Вт/.

Таблица 1 - Значения диэлектрической проницаемости и проводимости для наиболее типичных видов земной поверхности

Вид земной поверхности или покрова	°	Длина волн	$\epsilon$	$\gamma$ / сим/м/
Морская вода	$t^\circ=20^\circ\text{C}$	> 1,0	78	5,0
Пресная вода рек, озёр	$t^\circ=20^\circ\text{C}$	> 1,0	90	$2 \cdot 10^{-2}$
Влажная почва	$t^\circ=20^\circ\text{C}$	> 1,0	15 ÷ 30	$10^{-1} \div 10^{-2}$
Сухая почва	$t^\circ=20^\circ\text{C}$	> 1,0	3 ÷ 6	$10^{-4} \div 2,18$
Лёд	$t^\circ= -10^\circ\text{C}$	> 1,0	4 ÷ 5	$10^{-1} \div 10^{-2}$
Снег	$t^\circ= -10^\circ\text{C}$	> 1,0	1,2	$10^{-6}$
Мёрзлая почва	$t^\circ= -35^\circ\text{C}$	> 1,0	3 ÷ 7	$10^{-3} \div 10^{-2}$
Лес		> 10	1,004	$10^{-6} \div 10^{-5}$

Следовательно:

$$r_c = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{изл}}}{P_{\text{прmin}}} D_{\text{пр}} D_{\text{пер}} \cdot \lambda |W|} \quad (12)$$

Таблица 2 - Зависимость множителя ослабления  $|W|$  от параметра  $\rho$

$\rho$	0,01	0,06	0,1	0,2	0,5	1	2	3	4	5	10	20
$ W $	1	0,99	0,95	0,9	0,85	0,8	0,65	0,5	0,4	0,34	0,17	0,16

Для больших расстояний напряжённость электрического поля земных волн определяется законами дифракции. В частности, для интересующей нас области тени - по формуле В.А.Фока:

$$E_{\text{млВ}} = E_{\text{мсВ}} \cdot G, \quad \left[ \frac{mB}{M} \right], \quad (13)$$

где  $E_{\text{мсВ}}$  - определяется формулой (2);  $G$  - множитель ослабления, равный:

$$G = u \left( \frac{r}{(R_0 \cdot \lambda / \pi)^{1/3}} \right) \quad (14)$$

$r$  – расстояние от передатчика в м/,  $R_0$  – радиус земли,  $u(\cdot)$  – ункция расстояния от передатчика.

Обозначим:

$$x = \frac{r}{(R_0 \cdot \lambda / \pi)^{1/3}} \quad (15)$$

Подставляя (13) в (7), получим:

$$P_{np1B} = A_{эфф} E_{мсв}^2 G^2 \cdot \frac{1}{240\pi} \quad [мВт] \quad (16)$$

или

$$P_{np1B} = \frac{1}{240\pi} \cdot A_{эфф} E_{мсв}^2 u^2(x) = \frac{1}{240\pi} D_{np} \frac{\lambda^2}{4\pi} 60 P_{изл} D_{пер} \cdot u^2 / r^2 = \frac{\lambda^2}{16\pi^2 r^2} P_{изл} D_{np} D_{пер} u^2(x) \quad (17)$$

Откуда, полагая  $P_{np1B} = P_{npmin}$  [мВт], следует:

$$r_c = \frac{\lambda}{4\pi} u(x) \sqrt{\frac{P_{изл} D_{np} D_{пер}}{P_{npmin}}} = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{изл} D_{np} D_{пер}}{P_{npmin}}} \cdot \lambda \cdot u(x) \quad (18)$$

Здесь, по существу, имеет место трансцендентное уравнение, поскольку из (3) следует  $u(x) = u(r_c)$ . Действительно:

$$u(r) = 10^{-5} \frac{r}{(R_0 \cdot \lambda / \pi)^{1/3}} \quad (19)$$

Тогда решение (18) можно свести к решению уравнения относительно  $r_c$  при заданной правой части:

$$r_c \cdot 10^{-5} \frac{r_c}{\sqrt[6]{R_0 \cdot \lambda / \pi}} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{изл} D_{np} D_{пер}}{P_{npmin}}} \quad (20)$$

Решение этой задачи облегчено тем, что имеются графики МККР [2] для определения функций  $E_{mlB} = F(r_c)$  – напряжённости поля в зоне дифракции при антеннах, расположенных вблизи поверхности земли, рассчитанные по дифракционным формулам (13), (14). Эти графики приведены на рис.1 и 2, где дана зависимость напряжённости поля в мкВ/м от расстояния в км для различных  $\lambda$  и параметров земной поверхности  $\epsilon$ ,  $\gamma$  при мощности передатчика 1 кВт. Для того, чтобы определить напряжённость поля при другой заданной мощности передатчика  $P_{изл}$  /кВт/, необходимо значение напряжённости поля, определенного по графику, умножить на  $\sqrt{P_{изл}}$ .

При анализе количественных значений  $r_c$  в диапазоне СВ были приняты следующие допущения.

Во-первых, предполагалась передача диффпоправок на расширительной частоте системы национального Навтекса  $f = 450$  кГц /  $\lambda = 666,67$  м /, занимающей «промежуточное» положение между частотой системы национального Навтекса Украины  $f = 250$  кГц /  $\lambda = 1200$  м/ и второй расширительной частотой  $f = 490$ кГц /  $\lambda = 612,24$  м/, и на дальности  $r_c < 1000$  км.

Во-вторых, в качестве подстилающей поверхности при распространении радиоволн этого диапазона полагалась «осреднённая» поверхность в виде влажной почвы с параметрами  $\epsilon = 15$ ,  $\gamma = 10^2$ .

В третьих, в качестве технических параметров приёмопередающего тракта на трассе судно-ККС использованы значения:

$$D_{np} = G_{np} \cdot \eta_{np}; \quad D_{пер} = G_{пер} \cdot \eta_{пер}; \quad G_{np} = G_{пер} = 1; \quad \eta_{np} = \eta_{пер} = 0,9. \quad (21)$$

Здесь  $G_{np}$ ,  $G_{пер}$  - коэффициенты усиления приёмной и передающей антенн;  $\eta_{np}$ ,  $\eta_{пер}$  - коэф. антенно-фидерных трактов, соответственно, приёмника и передатчика.

Кроме того полагалось  $P_{изл} = 10, 50, 100, 500$  Вт;  $P_{np} = 6,25 \cdot 10^{-6}, 2,5 \cdot 10^{-7}, 1 \cdot 10^{-6}$  Вт.

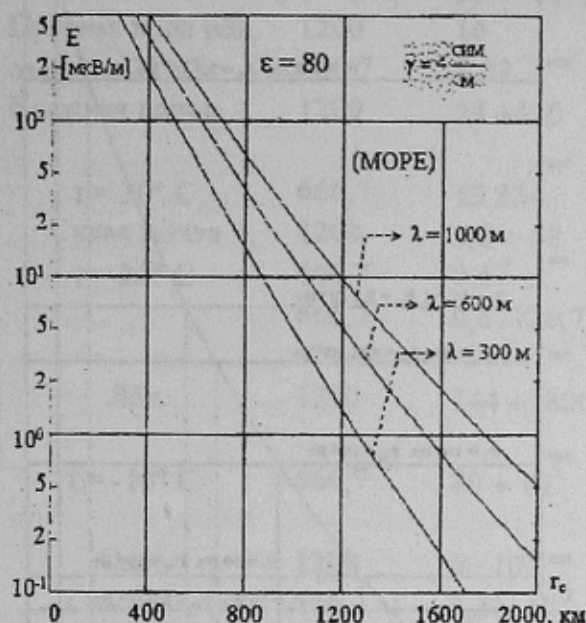


Рис. 1. - Зависимость напряжённости поля от расстояния для различных  $\lambda$  и параметров земной поверхности  $\epsilon$  и  $\gamma$  (Море)

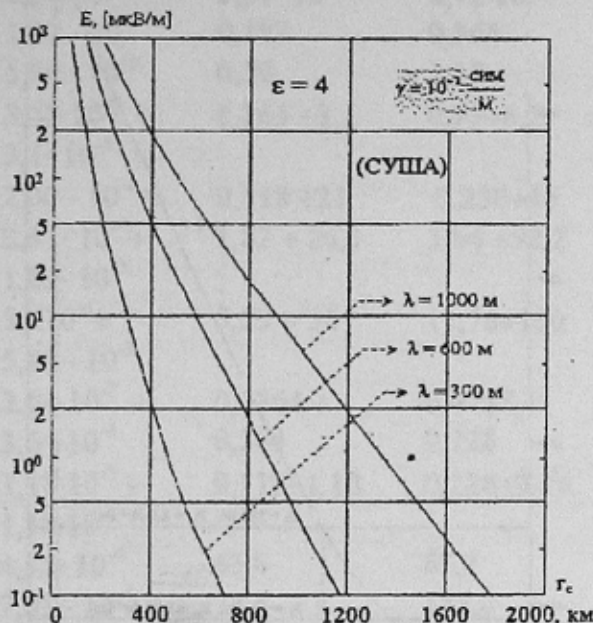


Рис. 2 - Зависимость напряжённости поля от расстояния для различных  $\lambda$  и параметров земной поверхности  $\epsilon$  и  $\gamma$  (Суша)

Для указанной длины волны и параметров почвы получаем

$$\operatorname{tg} \delta = 60\gamma\lambda/\epsilon = 26,67; \quad \rho = r \cdot 1,171 \cdot 10^{-5} \quad (22)$$

Тогда уравнение (12) принимает следующий трансцендентный вид:

$$\frac{r_c}{W(1,171 \cdot 10^{-5} r_c)} = 38,9044 \sqrt{\frac{P_{изл}}{P_{прmin}}}, \quad (23)$$

где значения  $W(1,171 \cdot 10^{-5} r_c)$  для каждого значения  $r_c$  заданы в таблице 3.

Результаты графоаналитического решения уравнения (23) для различных соотношений  $P_{изл}$  и  $P_{np}$  представлены на рис. 3 и 4. Из этих рисунков следует, что приемлемые значения радиусов действия контрольно-корректирующих станций в диапазоне 200-600 км сравнительно легко обеспечиваются при указанных типичных технических параметрах приёмо-передающих трактов. Например,

для  $P_{изл} = 10$  Вт и  $P_{прmin} = 6,25 \cdot 10^{-8}$  Вт,  $r_c = 255$  км; для  $P_{изл} = 50$  Вт и  $P_{прmin} = 2,5 \cdot 10^{-7}$  Вт,  $r_c = 275$  км; для  $P_{изл} = 100$  Вт и  $P_{прmin} = 6,25 \cdot 10^{-8}$  Вт,  $r_c = 472$  км; и т.д.

На рис. 5 представлены зависимости достижимого радиуса действия ККС от  $P_{изл}$  - мощности её передатчика. В качестве параметров кривых использованы значения  $P_{прmin}$  - чувствительности судовых навигационных приёмников дифференциальных поправок. Из графиков рис. 5 следует, что для достижения  $r_c = 500$  км чувствительность судовых

приёмников дифференциальных поправок должна быть не хуже  $2,5 \cdot 10^{-7}$  Вт или 500 мкВ. В этом случае указанный радиус действия ККС достигается при мощности её передатчика  $P_{\text{итт}} = 200$  Вт. Улучшение чувствительности приёмника до значения  $6,25 \cdot 10^{-8}$  Вт или 250 мкВ позволяет снизить мощность передатчика /для того же значения  $r_c$ / до уровня 50 Вт.

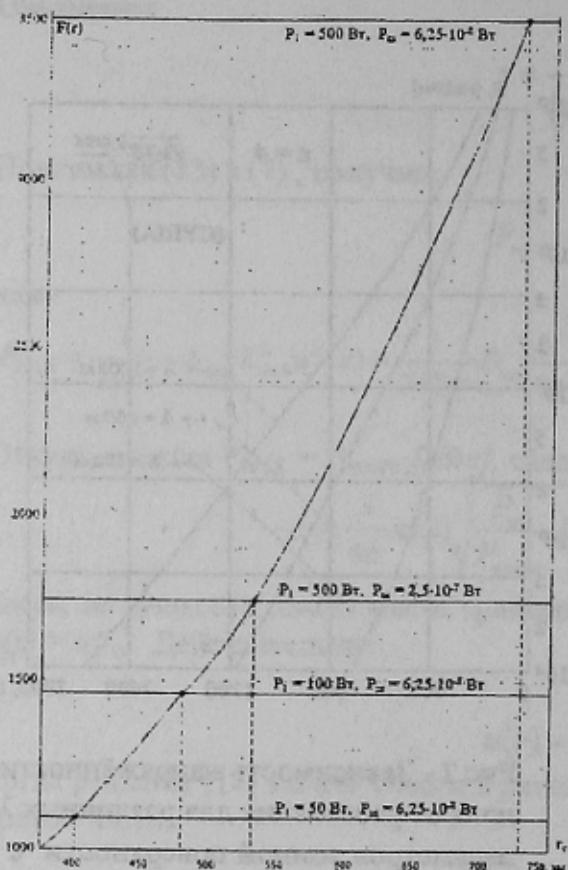


Рис. 3 - Зависимость  $r_c$  для различных соотношений мощности излучения передатчика ( $P_1$ ) и приёмника ( $P_m$ )

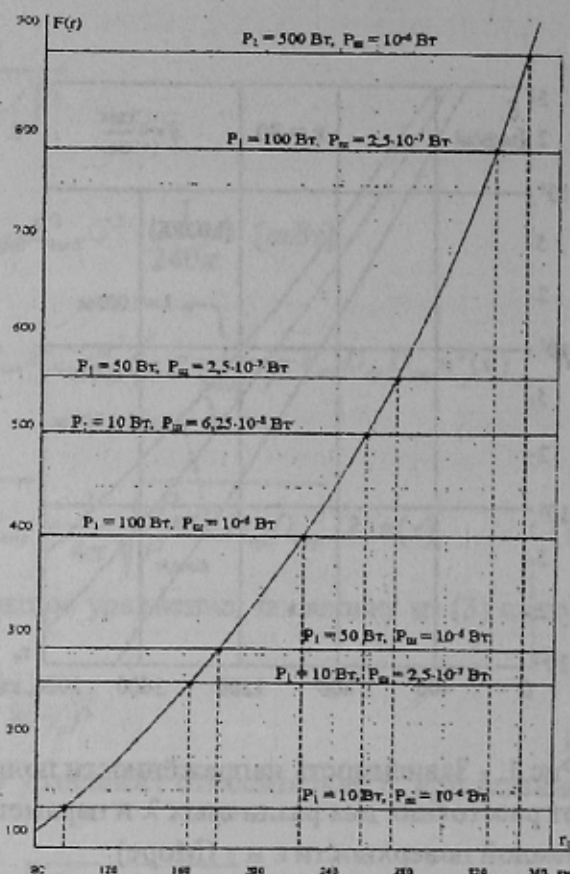


Рис. 4 - Зависимость  $r_c$  для различных соотношений технических параметров приёмопередающего тракта

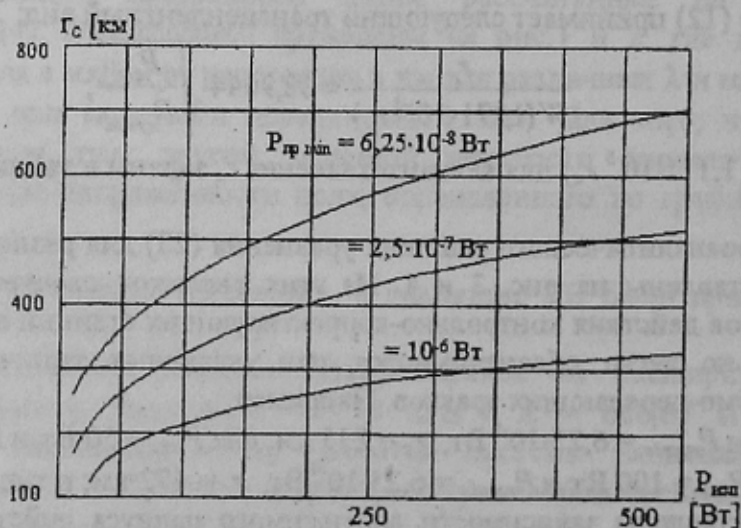


Рис. 5 - Зависимость достижимого радиуса действия контрольно-корректирующей станции от мощности её передатчика

Таблица 3 - Значения параметров  $\text{tg } \delta$  и  $\beta$  для типичных видов земной поверхности

Вид земной поверхности	$\lambda$ м	$\text{tg } \delta$	$\beta$	$\rho$	
				$\Gamma_c = 10^5 \text{ м}$	$\Gamma_c = 2 \cdot 10^5 \text{ м}$
Морская вода $t = 20^\circ \text{ C}$	1200	$4,6 \cdot 10^3$	$7,273 \cdot 10^{-9}$	$7,273 \cdot 10^{-4}$	$1,4546 \cdot 10^{-3}$
	666,7	$2,56 \cdot 10^3$	$2,36 \cdot 10^{-8}$	$2,36 \cdot 10^{-3}$	$4,72 \cdot 10^{-3}$
Пресная вода рек, озёр $t = 20^\circ \text{ C}$	1200	16	$1,82 \cdot 10^{-6}$	0,182	0,364
	666,7	8,89	$5,90 \cdot 10^{-6}$	0,59	1,18
Влажная почва $t = 20^\circ \text{ C}$	1200	$24 \div 480$	$3,65 \cdot 10^{-6} \div$ $3,1 \cdot 10^{-5}$	$0,365 \div 3,1$	$0,73 \div 6,2$
	666,7	$13,33 \div$	$2,30 \cdot 10^{-4} \div$	$0,118 \div 23$	$0,236 \div 46$
Сухая почва $t = 20^\circ \text{ C}$	1200	$1,2 \div 48$	$2,61 \cdot 10^{-4} \div$	$1,82 \div 26,1$	$3,64 \div 52,2$
	666,7	0,67	$1,82 \cdot 10^{-5}$		
	666,7	$0,67 \div 26,7$	$5 \cdot 10^{-4} \div$ $5,89 \cdot 10^{-5}$	$5,89 \div 50$	$11,78 \div 100$
Лёд $t = -10^\circ \text{ C}$	1200	$144 \div 1800$	$3,64 \cdot 10^{-7} \div$ $3,64 \cdot 10^{-6}$	$0,0364 \div$ $0,364$	$0,0728 \div$ $0,728$
	666,7	$80 \div 10^3$	$1,18 \cdot 10^{-5} \div$ $1,18 \cdot 10^{-6}$	$0,118 \div 1,18$	$0,226 \div 2,26$
Снег $t = -10^\circ \text{ C}$	1200	$6 \cdot 10^{-2}$	$4,36 \cdot 10^{-4}$	43,6	87,2
	666,7	$3,33 \cdot 10^{-2}$	$7,85 \cdot 10^{-4}$	78,5	157,0
Мёрзлая почва, $t = -35^\circ \text{ C}$	1200	$10,3 \div 240$	$3,64 \cdot 10^{-5} \div$ $3,64 \cdot 10^{-6}$	$0,364 \div 3,64$	$0,728 \div 7,28$
	666,7	$5,72 \div 133$	$6,45 \cdot 10^{-5} \div$ $1,17 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \div 6,45$	$2,34 \div 12,90$
	1200	$7,17 \cdot 10^{-2} \div$ $7,17 \cdot 10^{-1}$	$1,07 \cdot 10^{-3} \div$ $1,24 \cdot 10^{-3}$	$107 \div 124$	$214 \div 248$
Лес	666,7	$3,98 \cdot 10^{-2} \div$	$1,86 \cdot 10^{-3} \div$	$163 \div 186$	$226 \div 372$
		$3,98 \cdot 10^{-1}$	$1,63 \cdot 10^{-3}$		

## Литература

1. Ракитин В.Д. Предложения по применению СНС «Глонас Навстар» в дифференциальном режиме на ВВП. Раздел 5 Отчёта НИР по теме 93-603/36, СПГУВК, 1994.
2. Справочник по теоретическим основам радиоэлектроники, под ред. проф. Куликовского А.А., том 1, Энергия, 1977.
3. Береговые системы управления движением судов. Баскин А.С., Москвин Г.И. - М., Транспорт, 1986.