# РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО УЧЕТУ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ И ПОМЕХ ОТ КОРОНЫ ПРИ ВЫБОРЕ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 330-750 КВ И ПОСТОЯННОГО ТОКА 800-1500 КВ

**РД 34.20.172**
**СО 153-34.20.172**



**МОСКВА**
**2009**

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
ЭНЕРГОСИСТЕМ

# РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО УЧЕТУ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ И ПОМЕХ ОТ КОРОНЫ ПРИ ВЫБОРЕ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 330-750 кВ И ПОСТОЯННОГО ТОКА 800-1500 кВ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ЦЕНТР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
МОСКВА 1975

УДК 621.315.1.015.532(083.96)

Составлено Всесоюзным научно-исследовательским институтом электроэнергетики (ВНИИЭ) и Научно-исследовательским институтом постоянного тока (НИИПТ)

А в т о р ы : доктор техн. наук В.В.Бургодорф, канд.техн. наук Н. П. Емельянов, инж. Л.В.Тимашева (ВНИИЭ); доктор техн. наук Н.Н.Тиходеев, канд. техн. наук Л.С.Перельман, канд. техн. наук Л.В.Егорова, инж. Н.С.Кислова (НИИПТ); канд. техн. наук Р.А.Сохакян (Ереванское отделение ВЭИ),

Настоящие Руководящие указания выпущены взамен опубликованных в 1961 г. "Руководящих указаний по определению среднегодовых потерь мощности на корону для линий электропередачи 330-750 кВ." и составлены на основе оте чественных экспериментальных данных, полученных на опытных линиях, с учетом результатов измерения ЭНИН им. Г.М.Кржидановского на действующих линиях и зарубежных исследований.

Раздел "Оценка затрат при выборе проводов с учетом потерь энергия на корону" составлен по материалам канд.эконом. наук Т.В.Лисочкиной (ЛПИ им. М.И.Калинина).

Специализированный центр научно-технической информации Всесоюзного государственного треста по организации и рационализации районных электрических станций и сетей (СЦНТИ ОРГРЭС), 1975.

УТВЕРЖДАЮ:
Заместитель начальника
Главтехуправления
Ф.СИНЬЧУРОВ
28 июня 1974 г.

# ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. Короной называется один из видов самостоятельного раз-ряда в воздухе, возникающий на электродах малого радиуса принекотором значении напряженности электрического поля на них.Внешними проявлениями коронного разряда на проводах ВЛ являют-ся характерное потрескивание и свечение в отдельных местах на поверхности проводов.

Корона на проводах является основным источником радиопомех на ВЛ высокого и сверхвысокого напряжений и помех высокочастотным каналам связи. Корона приводит также к дополнительным потерям электроэнергии на ВЛ.

2. На проводах ВЛ помимо неровностей, обусловленных про-волоками верхнего повива, всегда встречаются повреждения поверх-ности (царапины, заусенцы), загрязнения (следы смазки, частицыорганического и неорганического происхождения) и могут эпизоди-чески появляться атмосферные отложения (капли дождя, роса, снег,изморозь, гололед, иней). Это приводит к местному увеличениюнапряженности электрического поля и, как следствие, к возникно-вению местной короны в отдельных точках провода. Характеристикирадиопомех и потерь при местной короне зависят главным образомот напряженности электрического поля на проводе, его диаметра,состояния поверхности, метеорологических условий и подверженызначительным разбросам.

Изложенные ниже методы расчета радиопомех и потерь на корону базируются на результатах длительных исследований на опытных и действующих ВЛ.

3. По мере повышения напряжения корона распространяется на большую поверхность провода. В конечном счете корона охватывает провод целиком по всей его длине. Эта стадия носит название общей короны.

4. Осадки оказывают сильное влияние на уровень радиопомех и величину потерь на корону, поэтому необходимо иметь сведения о среднегодовой продолжительности следующих основных групп погоды, каждая из которых характеризуется своим средним уровнем потерь:

- первая группа - хорошая погода (*х.п.*);
- вторая группа - сухой снег (*с.с*). К сухому снегу относятся также снежная крупа, снежные зерна, ледяные иглы, метели, метели с выпадением снега (за исключением низовой метели и поземок, которые не достигают проводов);
- третья группа - дождь (*д*). К дождям следует относить также морось и мокрый снег, так как их влияние на потери на корону и на уровень радиопомех близко к влиянию дождя;
- четвертая группа - изморозь (из). В группу изморози входят также: гололед, замерзший снег и мокрый замерзший снег.

Все остальные виды погоды относятся к группе хорошей погоды.

5. Продолжительность отдельных групп погоды может уменьшаться под влиянием нагрева проводов током нагрузки. При плотностях тока выше некоторых значений, называемых критическими, на поверхности провода не образуются атмосферные отложения в виде инея, росы, кристаллической изморози или мельчайших капелек воды (туман, повышенная влажность воздуха, дождь малой интенсивности). Вследствие этого потери на корону при указанных метеорологических условиях не превышают уровня потерь в хорошую погоду.

При токовых нагрузках ниже критических значений требуется выделение дополнительных групп погоды:

- пятая группа - кристаллическая изморозь;
- шестая группа - иней;
- седьмая группа - роса;
- восьмая группа - туман (сильный и умеренный);
- девятая группа - дождь с интенсивностью выше критической; - десятая группа - погода с повышенной влажностью воздуха

(к ней относится погода с относительной влажностью воздуха более 90% без осадков, тумана и отложений изморози, инея и росы на проводах).

6. При проектировании ВЛ вычисляются как энергия А, так и среднегодовая мощность $\bar{P}$ потерь на корону. Эти величины связаны между собой равенством

$$A = 8760 \cdot \bar{P} \quad \text{кВт·ч}(10^3\ \text{Вт·ч})^{*}. \qquad (1)$$

## РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОДОВ

7. Основным фактором, определяющим потери на корону и радиопомехи на ВЛ, является отношение напряженности электрического поля на поверхности проводов к начальной напряженности короны. Небольшое изменение этого отношения приводит к существенному изменению потерь на корону и радиопомех. Поэтому напряженность поля следует вычислять с погрешностью не более 1%.

8. Для ВЛ с одиночными проводами напряженность Е электрического поля на поверхности провода определяется по формуле

$$E = \frac{q \cdot 10^{-3}}{2\pi\varepsilon_0 r_0} \quad \text{кВ/см}(10^5\ \text{В/м}), \qquad (2)$$

где $q$ - линейная плотность заряда на проводе (см. приложение 1), К/м;

$r_0$ - радиус одиночного провода, см($10^{-2}$ м);

$\varepsilon_0$ - диэлектрическая проницаемость воздуха;

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \quad \Phi/\text{м}.$$

9. В расщепленном проводе напряженность поля распределена по поверхности

---

* Здесь и далее по тексту в скобках указывается размерность в системе единиц СИ и коэффициент перехода на эту систему.

составляющих проводов неравномерно. Обычно составляющие провода расположены по вершинам правильного $n$- угольника, сторона которого равна шагу расщепления $a$. При этом средняя напряженность $E$ поля на поверхности провода определяется по формуле

$$E = \frac{q \cdot 10^{-3}}{2\pi\varepsilon_0 n r_0} \quad \text{кВ/см}(10^5\ \text{В/м}), \qquad (3)$$

где $r_0$ - радиус составляющих расщепленного провода, см ($10^{-2}$м). Максимальная напряженность, которая возникает в точках А (рис. 1), определяется по формуле

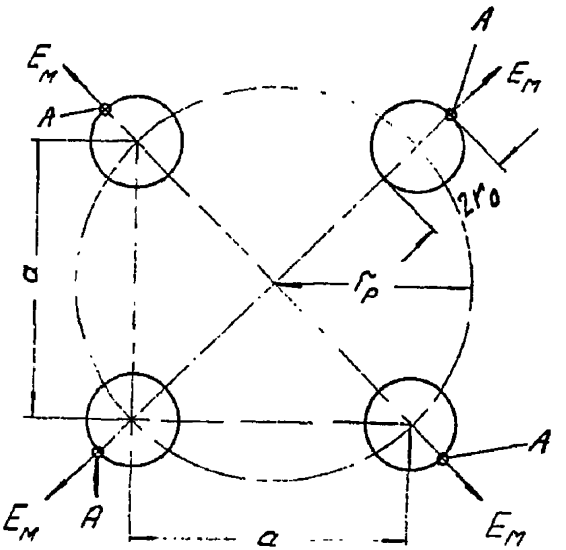



Рис. 1. Расщепленный провод ($n$ = 4)

$$E_M = \kappa_H E \quad \text{кВ/см}(10^5\ \text{В/м}), \qquad (4)$$

где $\kappa_H$ -коэффициент неравномерности распределения заряда по поверхности составляющего провода.

$$\kappa_H = 1 + (n-1)\frac{r_0}{r_p} = 1 + \beta\frac{r_0}{a}, \qquad (5)$$

где $r_p$ - радиус расщепления (см. приложение 1);

$a$ - шаг расщепления расщепленного провода см($10^{-2}$ м).

Значение $\beta$ в зависимости от числа составлявших проводов в расщепленном проводе **определяется** по формуле

$$\beta = 2(n-1)\sin\frac{\pi}{n} \qquad (6)$$

и приведено в табл.1.

Таблица 1

Значение коэффициента $\beta$ в зависимости от числа составляющих проводов

| $n$ | $\beta$ | $n$ | $\beta$ | $n$ | $\beta$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 6 | 5,00 | 10 | 5,56 |
| 3 | 3,46 | 7 | 5,21 | 11 | 5,64 |
| 4 | 4,24 | 8 | 5,36 | 12 | 5,69 |
| 5 | 4,70 | 9 | 5,47 | - | - |

При $n = const$ величина $\kappa_H$ зависит только от отношения $r_0/a$ Оптимальное значение отношения $r_0/a$, при котором величина $E_M$ минимальна, равно примерно 0,05.

10. При расчете напряженности поля можно использовать значения емкостей проводов ВЛ. (см. приложение 1).

Для трехфазной ВЛ переменного тока с одиночными ($n$ = *1*) и расщепленными проводами

$$E = 0{,}0147\frac{C_K U}{n r_0} \quad \text{кВ/см}(10^5\ \text{В/м})^*, \qquad (7).$$

где $C_K$ - рабочая емкость к-й- фазы ВЛ, пФ/м($10^{-12}$ Ф/м);

$U$ - среднее эксплуатационное за год линейное напряжение вдоль ВЛ (действующее значение), кВ($10^3$В).

Для униполярной и биполярной ВЛ постоянного тока

$$E = 0{,}018\frac{C U_n}{n r_0} \quad \text{кВ/см}(10^5\ \text{В/м}), \qquad (8)$$

где $C$ - емкость полюса ВЛ постоянного тока, пФ/м($10^{-2}$ Ф/м);

$U_n$ - напряжение полюса ВЛ постоянного тока относительно земли, кВ($10^3$ В).

11. При расчетах мощности потерь на корону на расщепленных проводах используется эквивалентная напряженность электрического поля $E_э$, определяемая по формуле

$$E_э = \frac{E + E_M}{2} = \frac{1 + K_H}{2} E \quad \text{кВ/см}(10^5\ \text{В/м}), \qquad (9)$$

12. Для унификации расчетов мощности потерь на корону при всех группах погоды введена базисная величина начальной напряженности поля $E_0$ на поверхности проводов, соответствующая появлению общей короны в условиях хорошей погоды.

Величина $E_0$ вычисляется по формуле

$$E_0 = 24{,}5 m\delta\left(1 + \frac{0{,}613}{(r_0\delta)^{0{,}44}}\right) \quad \text{кВ/см}(10^5\ \text{В/м}), \qquad (10)$$

где $m$ - коэффициент негладкости провода;

$\delta$ - относительная плотность воздуха;

$r_0$ - радиус составляющих расщепленного провода или радиус одиночного провода, см.

Для состаренных витых сталеалюминиевых проводов типов АС, АСО и АСУ (с

---

* Здесь и далее по тексту берется амплитудное значение напряженности электрического поля.

учетом обычно применяемой технологии монтажа с раскаткой проводов с барабанов и протяжкой их по грунту) рекомендуется принимать $m = 0{,}82$. Методика вычисления $\delta$ изложена в приложении 2.

Значения $E_0$ для основных марок сталеалюминиевых **проводов** при $\delta = 1$ и $m = 0{,}82$ даны в табл. 2. На рис. 2 приведена зависимость $E_0 = f(\delta)$ при $m = 1$.

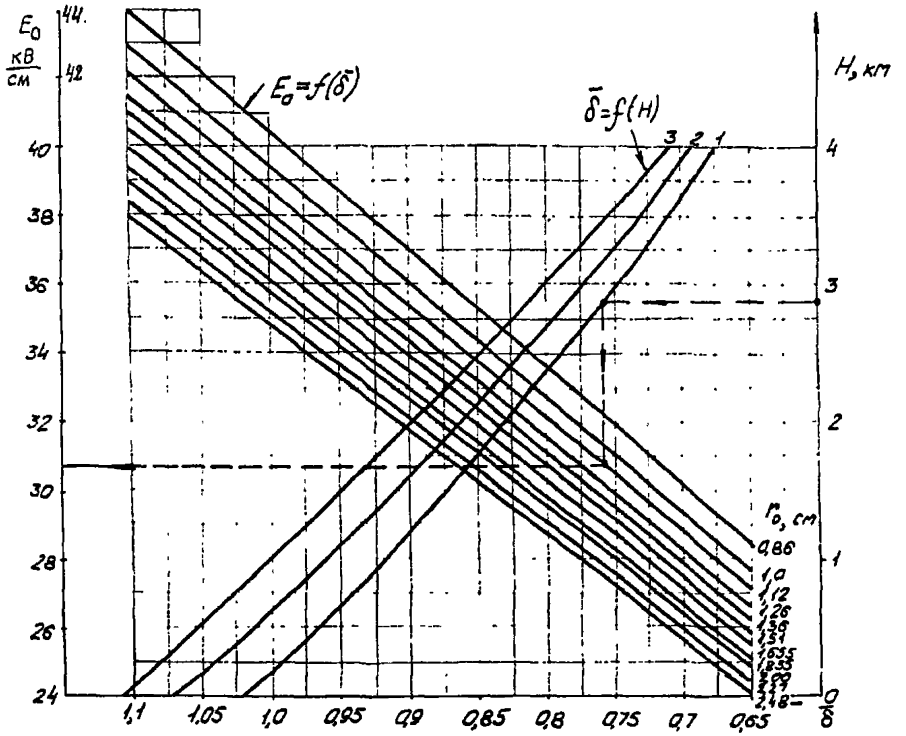



Рис. 2. номограмма для определения $E_0$ для горных ВЛ в зависимости от высоты над уровнем моря при $m = 1$;

1 - для районов Армении, Азербайджана, Большого Кавказа, Памира, Тянь-Шаня; 2 - для районов Урала, Алтая, Восточных Саян, Мелкосопочника (Карагандинская обл.); 3 - для районов Среднесибирского плоскогорья, Станового хребта (Амурская обл.), северо-восточной территории Сибири

Таблица 2

Значения начальной напряженности поля $E_0$ для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов

| Марка провода | Номинальное сечение, мм$^2$($10^{-6}$ м$^2$) | $r_0$, см ($10^{-2}$ м) | $E_0$, кВ/см ($10^5$ В/м) |
|---|---|---|---|
| АСО (ГОСТ 839-59) | 185 | 0,920 | 32,8 |
| | 240 | 1,080 | 32,0 |
| | 300 | 1,175 | 31,6 |
| | 400 | 1,360 | 31,0 |
| | 500 | 1.510 | 30,5 |
| | 600 | 1,655 | 30,2 |
| | 700 | 1,855 | 29,7 |
| АСУ (ГОСТ 839-59) | 185 | 0,980 | 32,5 |
| | 240 | 1,120 | 31,9 |
| | 300 | 1,260 | 31,3 |
| | 400 | 1,450 | 30,7 |
| АС (ГОСТ 839-59) | 185 | 0,950 | 32,7 |
| | 240 | 1,080 | 32,0 |
| | 300 | 1,210 | 31,5 |
| | 400 | 1,400 | 30,9 |
| А (ГОСТ 839-74) | 185 | 0,975 | 33,1 |
| | 240 | 1,000 | 32,4 |
| | 300 | 1,105 | 31,9 |
| | 350 | 1,210 | 31,5 |
| | 400 | 1,280 | 31,2 |
| | 450 | 1,365 | 31,0 |
| | 500 | 1,455 | 30,7 |
| | 550 | 1,515 | 30,5 |
| | 600 | 1,575 | 30,4 |
| | 650 | 1,647 | 30,2 |
| | 700 | 1,710 | 30,0 |
| | 750 | 1,780 | 29,8 |
| А (ГОСТ 839-74) | 800 | 1,845 | 29,7 |
| АС (ГОСТ 839-74) | 185/24 | 0,945 | 32,7 |
| | 185/29 | 0,940 | 32,7 |
| | 185/43 | 0,980 | 32,5 |
| | 185/128 | 1,155 | 31,7 |
| | 205/27 | 0,990 | 32,4 |
| | 240/32 | 1,080 | 32,0 |
| | 240/39 | 1,080 | 32,0 |
| | 240/56 | 1,120 | 31,8 |
| | 300/39 | 1,200 | 31,5 |
| | 300/48 | 1,205 | 31,5 |
| | 300/66 | 1,225 | 31,4 |
| | 300/204 | 1,460 | 30,7 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 330/27 | 1,220 | 31,5 |
| | 330/43 | 1,260 | 31,3 |
| | 400/22 | 1,330 | 31,1 |
| | 400/64 | 1,375 | 30,9 |
| | 400/64 | 1,385 | 30,9 |
| | 400/93 | 1,455 | 30,7 |
| | 450/56 | 1,440 | 30,7 |
| | 500/27 | 1,470 | 30,7 |
| | 500/64 | 1,530 | 30,5 |
| | 500/336 | 1,875 | 30,6 |
| | 500/71 | 1,620 | 30,2 |
| | 600/72 | 1,660 | 30,1 |
| | 650/79 | 1,935 | 30,6 |
| | 700/96 | 1,810 | 29,8 |
| | 750/93 | 1,885 | 29,6 |
| | 805/105 | 1,985 | 29,4 |

## ВЫБОР ПРОВОДОВ ПО ДОПУСКАЕМОМУ УРОВНЮ РАДИОПОМЕХ

13. Радиопомехи на ВЛ могут возникать как от короны на проводах, так и вследствие частичных разрядов и короны на изоляторах, пробоя или перекрытия дефектных изоляторов, короны на линейной арматуре и распорках проводов расщепленной фазы, а также из-за искрения в плохих контактах линейной арматуры, распорках проводов и между изоляторами.

Настоящими Руководящими указаниями учитываются только радиопомехи от короны на проводах. Предполагается, что помехи от остальных источников подавляются до относительно низкого уровня путем выбора рациональных конструкций арматуры и изоляторов и своевременного устранения дефектов при эксплуатации ВЛ.

Методика расчета радиопомех и допускаемых величин максимальной напряженности поля на поверхности проводов, изложенная в пп. 21, 25 и 26, может быть использована для ВЛ с горизонтальным расположением фаз или при разнице в высотах подвески отдельных фаз до 5 м, с расщепленными фазами с числом составляющих от I до 6 при шаге расщепления не более 60 см. Определение радиопомех от ВЛ с другими параметрами расщепленной фазы должно производиться по результатам дополнительных экспериментальных исследований. Для ВЛ с треугольным расположением фаз расчет радиопомех и допускаемых величин максимальной напряженности поля должен производиться по специальным программам:

14. Измерения напряженности поля радиопомех от ВЛ производятся измерителями радиопомех, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 11001-69 для 1-го класса, с применением рамочной антенны, нижняя точка которой должна находиться на высоте 1,0 м над уровнем земли.

15. Радиопомехи, создаваемые ВЛ в диапазоне частот от 0,15 до 30 МГц, нормируются[1] на следующих расстояниях от проекции крайнего провода на землю:

- для ВЛ 110 и 220 кВ - 50 м;
- для ВЛ 330 кВ и выше - 100 м.

В Общесоюзных нормах приводится частотный спектр допускаемых величин напряженности поля радиопомех от ВЛ (рис. 3).

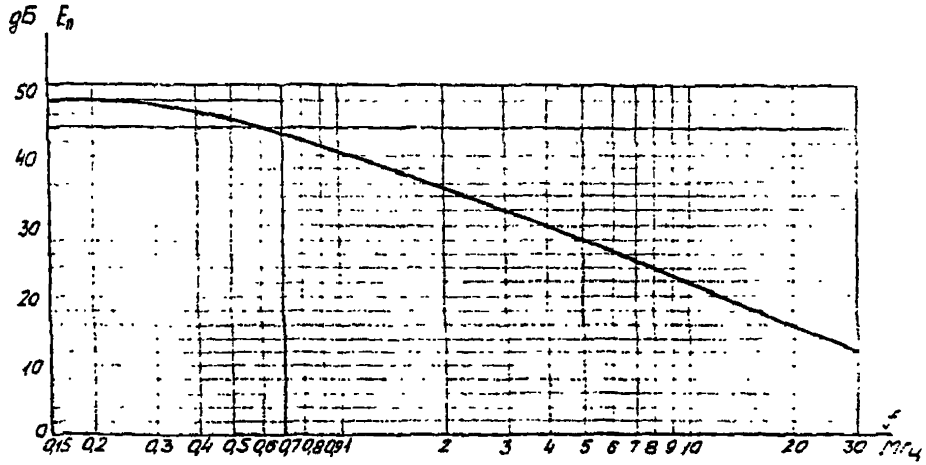



Рис. 3. Допускаемые величины напряженности поля радиопомех

Радиопомехи от ВЛ не должны превышать допустимые величины на указанных расстояниях от ВЛ не менее 80% времени в году.

16. Уровень радиопомех от ВЛ зависит от величины максимальной напряженности поля на поверхности проводов, радиусов проводов, частоты, на которой производятся измерения радиопомех, и высоты ВЛ над уровнем моря. Для заданной конструкции ВЛ уровень радиопомех зависит от состояния поверхности проводов и осадков. Поэтому уровень радиопомех изменяется во времени, что требует изучения его статистических характеристик.

Уровни радиопомех и их статистические характеристики при переменном и постоянном напряжениях (при прочих равных условиях) различны.

### Воздушные линии переменного тока

17. Зависимость радиопомех от максимальной напряженности электрического поля на поверхности проводов в хорошую погоду при $E_м = 23 \div 30$ кВ/см имеет вид

$$E_п - E'_п = 2{,}3 \cdot 10^{-5} (E_м - E'_м) \text{ дБ}, \qquad (11)$$

где $E_п$ и $E'_п$ - уровни радиопомех при максимальных напряжениях электрического

[1] Общесоюзные нормы допускаемых индустриальных радиопомех (нормы 1-72 - 9-72 ). Изд: "Связь", 1973.

поля, на поверхности расщепленного провода соответственно $E_M$ и $E'_M$ В/м.

18. Зависимость радиопомех от радиусов проводов (в случае расщепленной фазы - от радиусов составляющих проводов) при $E_П = const$ имеет вид

$$E_П - E'_П = 40 \lg \frac{r_0}{r'_0} \text{ дБ}, \qquad (12)$$

где $E_П$ и $E'_П$ - уровни радиопомех при радиусах проводов соответственно $r_0$ и $r'_0$.

19. При заданной максимальной напряженности поля на проводах уровень радиопомех не зависит от числа составляющих проводов расщепленной фазы, по крайней мере в диапазоне от 1 до 6.

20. Зависимость радиопомех от частоты определяется выражением

$$\Delta_f E_П = 5[1 - 2(\lg 10f)^2] \text{ дБ}, \qquad (13)$$

где $f$ - частота, МГц;

$\Delta_f E_П$ - изменение уровня радиопомех относительно уровня радиопомех на частоте 0,5 МГц. Частоту 0,5 МГц рекомендуется принимать в качестве базисной частоты при расчетах радиопомех от ВЛ.

21. Уровень радиопомех уменьшается с удалением от ВЛ. Измерения радиопомех обычно производятся в середине пролета на **различных** расстояниях от ВЛ. Для определения уровня радиопомех на нормированном расстоянии от ВЛ по результатам измерений в других точках используются **зависимости радиопомех от расстояния** точки измерения до проекции крайнего провода на землю (поперечные профили радиопомех). На рис. 4 и 5 приведены поперечные профили радиопомех для ВЛ 500 и 750 кВ.

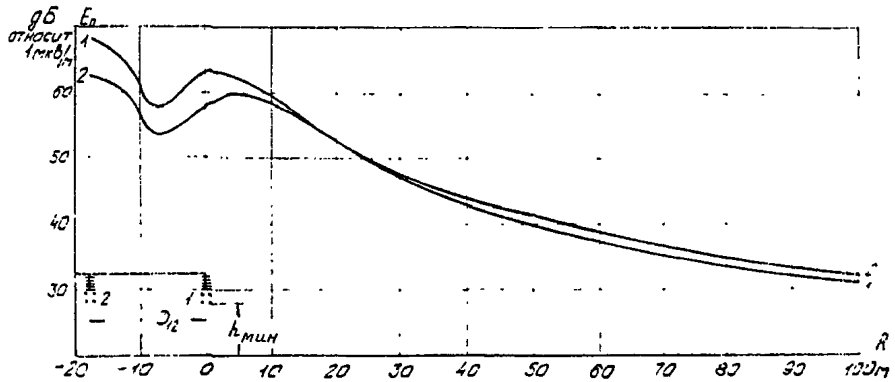



Рис.4. Поперечные профили радиопомех от ВЛ 500 кВ с проводами 3 х АСО-500/40 при $E_M$ = 24,4 кВ/см на частоте 0,5 МГц (средние значения уровней радиопомех в хорошую погоду); $D_{12}$ = 10,5м; кривая приводится для $h_{мин}$ = 10 м; кривая 2 - для $h_{мин}$ = 15 м

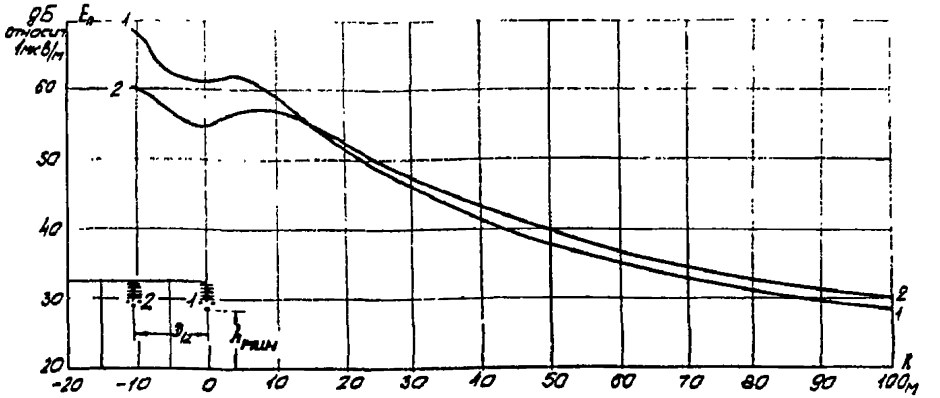



Рис. 5. Поперечные профили радиопомех от ВЛ 750 кВ с проводами 4 х АСО-600/60 при $E_M = 26{,}0$ кВ/см на частоте 0,5_МГц (средние значения уровней радиопомех в хорошую погоду): $D_{12} = 17{,}5$ м, кривая 1 - приводится для $h_{мин} = 10$ м; кривая 2 - для $h_{мин} = 15$ м

Эти профили можно использовать для расчета радиопомех от ВЛ 330-500 кВ (рис. 4), ВЛ 750 кВ (рис. 5) с горизонтально расположенными проводами и при расстояниях между ними, несколько отличающихся от указанных на рис. 4 и 5.

Форма поперечного профиля радиопомех определяется приближенно из выражения

$$E_n - E'_n = 20 \lg \frac{R^{\kappa} h^{\kappa-1}}{R_1^{\kappa} h^{\kappa-1}} \quad \text{дБ}, \qquad (14)$$

где $E_n$ и $E'_n$ - уровни радиопомех соответственно на расстояниях $R$ и $R_1$ (рис.6) от ближайшего крайнего провода ВЛ при высотах подвески его в точках измерения $h$ и $h_1$;

$\kappa$ - коэффициент поперечного затухания радиопомех, равный 1,6.

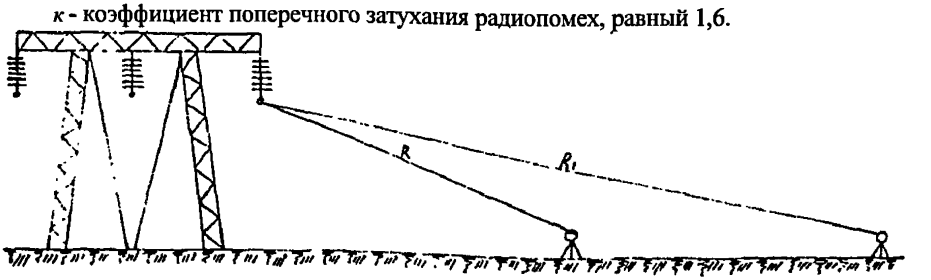



Рис.6. Схема размещения приборов при измерении радиопомех на различных расстояниях от ВЛ

22. Зависимость радиопомех от высоты ВЛ над уровнем моря определяется выражением

$$E_n - E_n' = \frac{H - H'}{300} \text{ дБ}, \qquad (15)$$

где $H$ и $H'$ - высоты ВЛ над уровнем моря, м.

23. Для расчета распределения уровня радиопомех в течение года выделяются три группы погоды: хорошая погода, дождь и сухой снег (сюда же относится изморозь). Уровни радиопомех с учетом принятых групп погоды распределяются по закону, близкому к нормальному, со стандартным отклонением $\sigma$, равным 4-6 дБ.

На рис. 4 и 5 приведены средние значения уровней радиопомех в хорошую погоду для ВЛ 500 и 750 кВ при номинальных напряжениях. В дождь средние уровни радиопомех больше, чем в хорошую погоду, на 10 дБ, а при сухом снеге - на 6 дБ.

24. Процент времени в году В, в течение которого уровень радиопомех не превышает допускаемой величины $E_n^{доп}$, определяется по формуле

$$B = 100\left[\psi_{x.n}\Phi^*\left(\frac{E_n^{доп} - \bar{E}_n^{x.n}}{\sigma_{x.n}}\right) + \psi_д \Phi^*\left(\frac{E_n^{доп} - \bar{E}_n^{(д)}}{\sigma_д}\right) + \right.$$

$$\left. + \psi_c \Phi^*\left(\frac{E_n^{доп} - \bar{E}_n^{(c)}}{\sigma_c}\right)\right] \%, \qquad (16)$$

$\psi_{x.n}, \psi_д, \psi_c$ - относительная продолжительность, соответственно хорошей погоды, дождя и снега в течение года;

$\bar{E}_n^{x.n}, \bar{E}_n^{д}, \bar{E}_n^{(c)}$ - средние значения уровней радиопомех на заданном нормируемом расстоянии соответственно в хорошую погоду, дождь и снег;

$\sigma_{x.n}, \sigma_д, \sigma_c$ - стандартные отклонения распределения уровней радиопомех соответственно в хорошую погоду, дождь и снег;

$\Phi^*$ - нормальная функция распределения определяется по формуле

$$\Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \qquad (17)$$

Для районов с умеренным климатом вероятности групп погоды в течение года $\bar{\psi}_i$ приведены в табл. 3

Таблица 3

Продолжительность и вероятность различных групп погоды за год для средней полосы СССР

| Группа погоды | Продолжительность данной группы погоды за год $\overline{T}_i$, ч | Вероятность данной группы погоды за год $\overline{\psi}_i$ |
|---|---|---|
| Хорошая погода . . . | 7120 | 0,813 |
| Сухой снег | 800 | 0,091 |
| Дождь | 500 | 0,057 |
| Зернистая изморозь и гололед .... | 110 | 0,013 |
| Кристаллическая изморозь. | 230 | 0,026 |

В этих районах условие $B \geq 80\%$ примерно равнозначно условию о непревышении допускаемых величин радиопомех в течение не менее 90% времени хорошей погоды, которое описывается выражением

$$\overline{E}_n^{x.n} \leq E_n^{доп} - 1{,}3\sigma_{x.n.} \text{ дБ.} \qquad (18)$$

25. Определение уровней радиопомех от ВЛ производится в следующем порядке:

а) за базисный уровень радиопомех $E_{пб}$ принимается среднее значение уровней радиопомех на нормируемом расстоянии, определяемое для ВЛ 330-500 кВ по рис. 4 ($E_{пб}$=30 дБ) и для ВЛ 750 кВ -по рис. 5 ($E_{пб}$=33 дБ);

б) максимальная напряженность поля на проводах ВЛ вычисляется согласно разделу "Расчет напряженности электрического поля на поверхности проводов;

в) расчет среднего уровня радиопомех в хорошую погоду на частоте 0,5 МГц на нормированном расстоянии 100 м от ВЛ производится по формуле

$$\overline{E}_n^{(x.n)} = E_{пб} + 2{,}3 \cdot 10^{-5} (E_м - E_{мб}) + 40 \lg \frac{r_0}{r_{об}} + \frac{H}{300} \text{ дБ,} \qquad (19)$$

где напряженность поля $E_м$ берется для средней фазы;

г) величина $B$ вычисляется по формуле (16), где для базисной частоты 0,5 МГц величина $E_n^{доп} = 45$ дБ (см. рис.3);

$$\overline{E}_n^{(д)} = \overline{E}_n^{(x.n)} + 10 \text{ дБ;} \quad \overline{E}_n^{(с)} = \overline{E}_n^{(x.n)} + 6 \text{ дБ;}$$ величина

$$\sigma_{хп} = \sigma_д = \sigma_с$$

принята равной 5 дБ. Если $B \geq 80\%$, а для районов с умеренным климатом выполняется условие (18), то уровень радиопомех от ВЛ следует считать допустимым.

26. Для линий электропередачи с горизонтальным расположением проводов для районов с умеренным климатом расчет попускаемых величин максимальной напряженности поля $E_{доп}$ на поверхности проводов ВЛ по условию допускаемого уровня радиопомех производится по формулам:

-для ВЛ 330 и 500 кВ

$$E_{доп} = 31,1 - 17,4\, lg\, r_0 \quad кВ/см (10^5\ В/м); \qquad (20)$$

- для ВЛ 750 кВ

$$E_{доп} = 32,2 - 17,4\, lg\, r_0 \quad кВ/см (10^5\ В/м). \qquad (21)$$

Зависимости $E_{доп}$ от радиусов проводов построены на рис. 7.

При высоте ВЛ над уровнем моря $H > 500$ м $E_{доп}$ уменьшается на величину $\frac{H}{690}$.

27. Средний уровень распределенных высокочастотных помех $P_{пом}$, в полосе 1 кГц на ВЛ 35-500 - кВ для высоты над уровнем моря 0-4 км в районах с малой загрязненностью воздуха определяется по формуле[1]

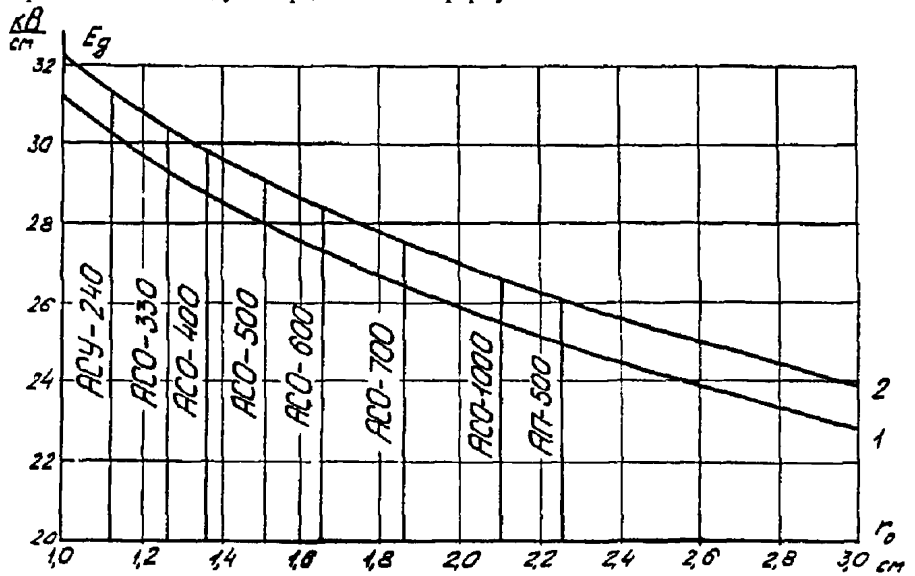



Рис. 7. Допускаемые по условиям радиопомех максимальные напряженности поля на проводах трехфазных ВЛ переменного тока: кривая 1 - для ВЛ 330 и 500 кВ; кривая 2 - для ВЛ 750 кВ

$$P_{пом.f} = -75 + 63,5\, \frac{E_м}{E_0} \quad дБ. \qquad (22)$$

[1] Руководящие указания по расчету параметров и выбору схем высокочастотных трактов по линиям электропередачи. Энергия, 1974.

Уровень распределенных помех $P_{пом\,f}$ в любом полосе частот $(\Delta f)$, отличных от 1 кГц, определяется по формуле

$$P_{пом.f} = P_{пом} + 10\,lg\Delta f \ \text{дБ}. \qquad (23)$$

**Воздушные линии постоянного тока.**

28. Зависимости радиопомех от максимальной напряженности поля на проводах, радиусов проводов, частоты и расстояния от линий для ВЛ постоянного тока приблизительно такие же, как и для ВЛ переменного тока. На ВЛ постоянного тока радиопомехи возникают в основном от короны на положительном полюсе.

29. Уровни радиопомех в хорошую погоду от биполярной ВЛ постоянного тока приблизительно на 4 дБ меньше, чем от ВЛ переменного тока, при одинаковых проводах и максимальных напряженностях поля.

В отличие от ВЛ переменного тока уровни радиопомех от ВЛ постоянного тока при осадках уменьшаются.

При одинаковых уровнях радиопомех от ВЛ переменного и постоянного тока качество радиоприема выше в случае радиопомех от ВЛ постоянного тока.

30. Средний уровень радиопомех от биполярной ВЛ постоянного тока в хорошую погоду на частоте 0,5 МГц на нормированном расстоянии 100 м от ВЛ вычисляется по формуле (19) для базисной линии электропередачи с величинами $r_{0Б} = 1{,}51$ м, $E_{МБ} = 24{,}4$ кВ/см и $E_{ПБ} = 24{,}4$ дБ (для высоты провода в пролете $h = 15$ м).

31. Уровень радиопомех от ВЛ постоянного тока можно считать допустимым, если выполняется условие

$$E_{п}^{(х.п)} \le E_{п}^{доп} - 0{,}8\,\delta_{х.п} \ \text{дБ}. \qquad (24)$$

32. Для биполярных ВЛ постоянного тока пропускаемые величины максимальной напряженности поля на поверхности проводов вычисляются по формуле

$$E_{доп} = 34 - 17{,}4\,lg r_0 \ \text{кВ/см}\,(10^5\ \text{В/м}). \qquad (25)$$

# РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ ДЛЯ ВЛ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

### Упрощенный метод

33. **Методика**, изложенная в данном разделе, относится к равнинным ВЛ, т.е. к линиям, проходящим на высоте до 500 м над уровнем моря.

34. **Мощность потерь на корону для каждой группы погоды** (см. п. 4) определяется по обобщенным характеристикам $\theta_i$, которые являются функцией отношения $E_э / E_0$ (рис. 8)

$$Q_i = \frac{P_i}{n r_0^2}, \qquad (26)$$

где $P_i$ - мощность потерь на корону при $i$ - й группе погоды, кВт/км (Вт/м).

Обобщенная характеристика, приведенная на рис.8, относится к среднегодовой интенсивности дождя $\bar{I} = 1$ мм/ч($\bar{I} = \frac{\bar{И}}{\bar{T}}$, где $\bar{И}$ - среднегодовое количество осадков при дожде, $\bar{T}$ - среднегодовое число часов дождя). Значения обобщенных характеристик потерь при любой другой интенсивности дождя $\bar{I} \neq 1$ мм/ч могут быть получены умножением значении $\theta_i$, полученных из рис. 8, на отношение $æ = P_{\bar{I}} / P_{\bar{I}=1}$, зависящее от среднегодовой интенсивности дождя (значения $æ$ указаны на рис.9)

35. Значение среднегодовой мощности потерь на корону для трехфазной линии вычисляется суммированием потерь по фазам для каждой группы погоды

$$\bar{P} = n r_0^2 \left[ (2\theta_{x.n1} + \theta_{x.n2}) \Psi_{x.n} + (2\theta_{c.c1} + \theta_{c.c2}) \Psi_{c.c} + \right.$$
$$\left. + (2\theta_{д1} + \theta_{д2}) \Psi_д + (2\theta_{из1} + \theta_{из2}) \Psi_{из} \right] \text{ кВт/км (Вт/м)}, \qquad (27)$$

где $\theta_{x\,n1}, \theta_{c\,c1}, \theta_{д1}, \theta_{из1}$ - значения обобщенных потерь на корону для разных групп погоды на крайней фазе ВЛ;

$\theta_{x\,n2}, \theta_{c\,c2}, \theta_{д2}, \theta_{из2}$ - значения обобщенных потерь на корону для разных групп погоды на средней фазе ВЛ;

$\Psi_{x\,n}, \Psi_{c\,c}, \Psi_д, \Psi_{из}$ - вероятность разных групп погоды за год ($\Psi_i = \frac{T_i}{8760}$);

$T_i$ - продолжительность за год $i$-й группы погоды (ч).

36. Эквивалентная напряженность электрического поля на поверхности проводов крайней ($E_{э1}$) и средней ($E_{э2}$) фаз линии вычисляется при среднем эксплуатационном напряжении по формулам (5) - (7) и (9).

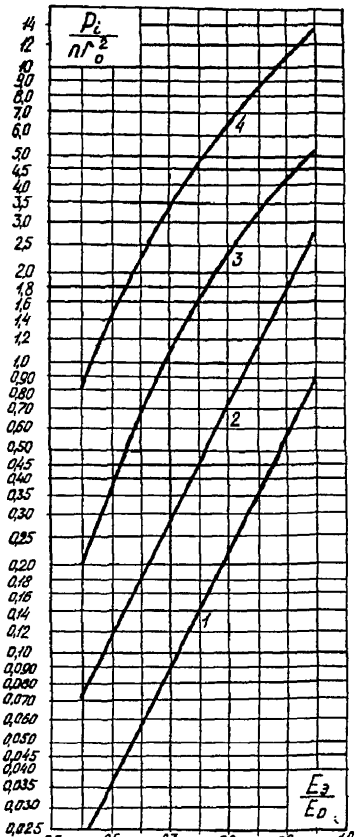



Рис. 8 Обобщенные характеристики потерь на корону при $m = 0,82$ для разных групп погоды:

1 - хорошая погода; 2 - сухой снег; 3 - дождь; 4 - изморозь

**(Рабочая номограмма приведена в приложении 8)**

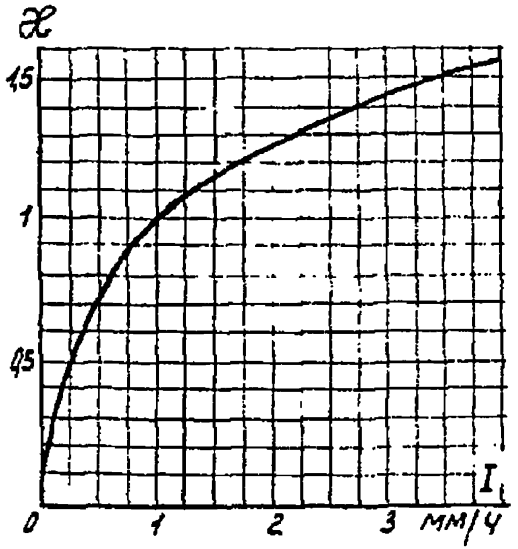



Рис. 9 Отношение средних потерь на корону в дождь с заданной среднегодовой интенсивностью осадков к потерям на корону при среднегодовой интенсивности осадков равной 1 мм/ч

Начальная напряженность короны $E_0$ при хорошей погоде вычисляется с учетом среднегодовой относительной плотности воздуха по трассе линии $\overline{\delta}$ (см. приложение 2), так как на рис. 8 значения обобщенных характеристик потерь при хорошей погоде приведены к плотности воздуха $\delta$, равной 1,0. При всех других группах погоды $\overline{\delta}$ следует условно принимать равной 1,0. Возможные различия в значениях плотности воздуха по территории страны для пунктов с высотой до 500 м над уровнем моря в этих случаях не учитываются, так как диапазон изменения $\overline{\delta}$ для каждой группы погоды невелик.

37. Вероятность каждой группы погоды за год $\psi_i$ рассчитывается по данным наблюдений метеорологических станций, расположенных вблизи трассы линии. Необходимое количество станций и число лет наблюдений следует выбирать в соответствии с рекомендациями, изложенными в приложении 3. Продолжительность различных групп погоды для отдельных пунктов приведена в приложении 4.

38. При решении ряда отраслевых технических вопросов (например, при унификации опор) в районах с умеренным климатом рекомендуется пользоваться усредненными данными по продолжительности различных групп погоды, приведенными в табл. 3. Эти данные характерны для средней полосы СССР.

39. При оценке мощности потерь на корону по упрощенному методу предполагается, что под влиянием нагрева проводов током нагрузки продолжительность и величина потерь на корону при дожде и изморози не уменьшается, а отложения на поверхности провода в виде инея или капель воды при тумане, повышенной влажности воздуха и росе не образуются.

В расчетах по упрощенному методу следует учитывать продолжительность групп погоды, указанных в п. 4.

40. При необходимости более точной оценки мощности потерь на корону уточняется влияние нагрева. В этом случае требуется дополнительная детализация погодных условий согласно п. 5.

**Расчет мощности потерь с уточнением влияния нагрева проводов током нагрузки**

41. Ток нагрузки ВЛ может оказать влияние на величину потерь от короны при изморози, дожде, инее, росе, повышенной влажности и тумане.

42. Наименьшая плотность тока в проводах ВЛ, при которой, несмотря на выпадение осадков (изморози, инея, росы, дождя малой интенсивности и др.), потери на корону не превышают уровня потерь при хорошей погоде, носит название критической ($j_{кр}$). Величина $j_{кр}$ зависит от диаметра провода и от метеорологических условий.

43. Каждому значению плотности тока для заданного провода соответствует определенное значение критической интенсивности дождя $I_{кр}$ (рис. 10), т.е. то наибольшее значение интенсивности, при котором потери на корону еще не превышают уровня, соответствующего хорошей погоде. При вычислении средних потерь на корону в дождь из общей продолжительности дождя по наблюдениям метеостанций следует исключить дожди с интенсивностью, равной и меньшей критической. Продолжительность дождя с $I \le I_{кр}$ суммируется с продолжительностью хорошей погоды.

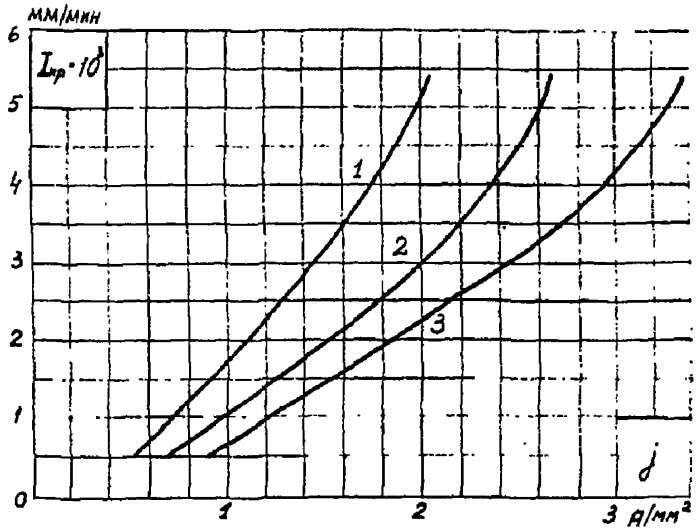



Рис.10 Зависимость, критической интенсивности дождя от плотности тока:
1 - провод АСО-1000; 2 - провод АСО-500; 3 - провод АСО-150

44. Вероятность дождя за год $\psi_{д\,кр}$ с интенсивностью $I \le I_{кр}$ определяется по формуле

$$\psi_{д.кр} = \frac{T_{кр.д}}{8760} = \frac{\overline{T}_д}{8760} \Phi_Z , \qquad (28)$$

где $\overline{T}_д$ - среднегодовая продолжительность дождевых осадков, ч;

$T_{д\,кр}$ - среднегодовая продолжительность дождя с интенсивностью, не превышающей критическую, ч;

8760 - число часов в году;

$\Phi_Z$ - вероятность дождя с интенсивностью, не превышающей критическую за период выпадения дождевых осадков

$$\Phi_Z = \frac{Z}{0{,}39 + 0{,}99Z}; \qquad (29)$$

$$Z = \frac{I_{кр}}{\overline{I}}, \qquad (30)$$

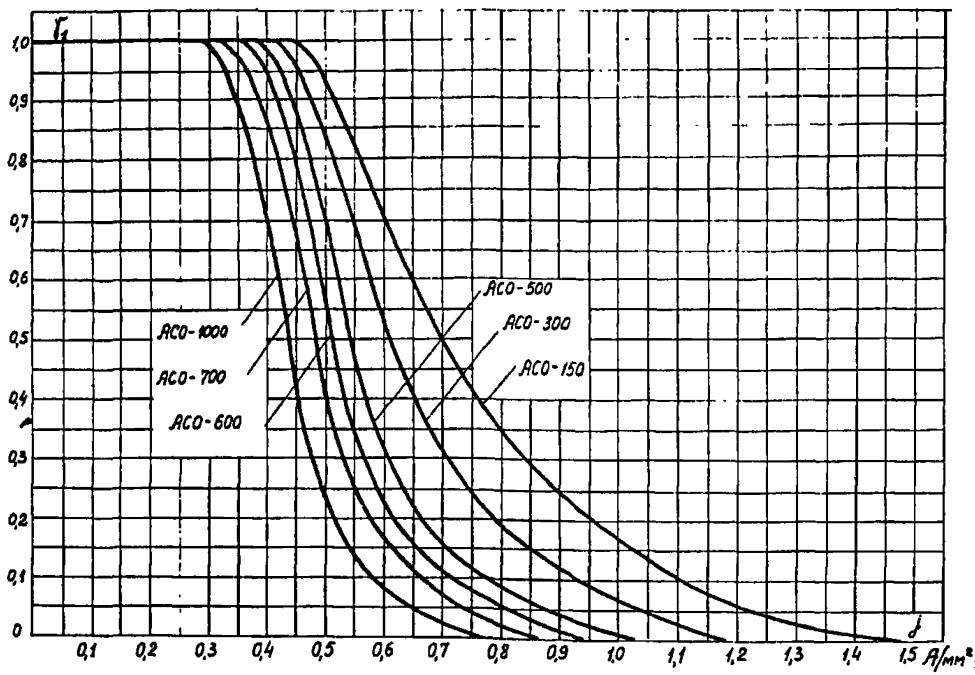



Рис. 11 Зависимость коэффициента $\gamma_1$ от плотности тока

где $\overline{I}$ - среднегодовая интенсивность дождя (см. приложение 4), мм/ч ($10^{-3}$ м/ч).

45. При зернистой изморози и гололеде нагрев проводов рабочим током не сказывается на потерях на корону. При кристаллической изморози влияние нагрева проявляется в уменьшении продолжительности отложений на проводах и в уменьшении уровня потерь на корону. Влияние нагрева рассматривается при значениях плотности тока $j$, характерных для периода образования изморози (зимний график нагрузки, ночные часы).

46. Расчетная вероятность образования кристаллической изморози определяется умножением фактической вероятности по каждениям метеостанции ($\Psi_{кр.из} = \frac{T_{кр.из}}{8760}$) на поправочный коэффициент $\gamma_1$, определяемый из рис. 11. При этом вероятность хорошей погоды в формуле (27) следует увеличить на величину $(1-\gamma_1)\Psi_{кр.из}$.

47. Обобщенные потери на корону для кристаллической изморози под влиянием нагрева уменьшаются до величины $\theta_{кр.из}\gamma_2$, где $\theta_{кр.из}$ берется по рис. 8, а коэффициент $\gamma_2$-по рис. 12.

48. Критическая плотность тока для инея и росы при изменении сечения провода по алюминию от 150 до 700 мм$^2$ колеблется в пределах 0,5-3,35 А/м$^2$. Если в ночные часы плотность тока $j \geq j_{кр}$, то образование инея и росы в расчетах потерь на корону не учитывается и продолжительность инея и росы суммируется с продолжительностью хорошей погоды. При плотности тока $j < j_{кр}$ следует учитывать увеличение потерь на корону при инее и росе. В этом случае расчет потерь на корону ведется по обобщенной характеристике для дождя (см. рис.8), причем потери при инее следует приравнивать к потерям при дожде с интенсивностью 1 мм/Ч, а потери при росе - с интенсивностью 0,25 мм/ч.

49. По условиям образования влаги на холодных проводах туман и погода с повышенной влажностью воздуха могут быть приравнены к дождям интенсивностью 0,001 мм/мин. Влияние нагрева при этих условиях можно оценивать по рис. 10. Если в ночные часы плотность тока в проводах ВЛ такова, что соответствующая ей по рис. 10 интенсивность $I_{кр} < 0,001$ мм/мин, следует учитывать увеличение потерь на корону при данных метеорологических условиях, суммируя продолжительность тумана и погоды с повышенной **влажностью** с продолжительностью сухого снега, так как они имеют близкое значение уровня потерь. Если же плотность тока $j$ такова, что $I_{кр} \geq 0,001$ мм/мин, то продолжительность указанных метеорологических явлений следует **суммировать** с продолжительностью хорошей погоды.

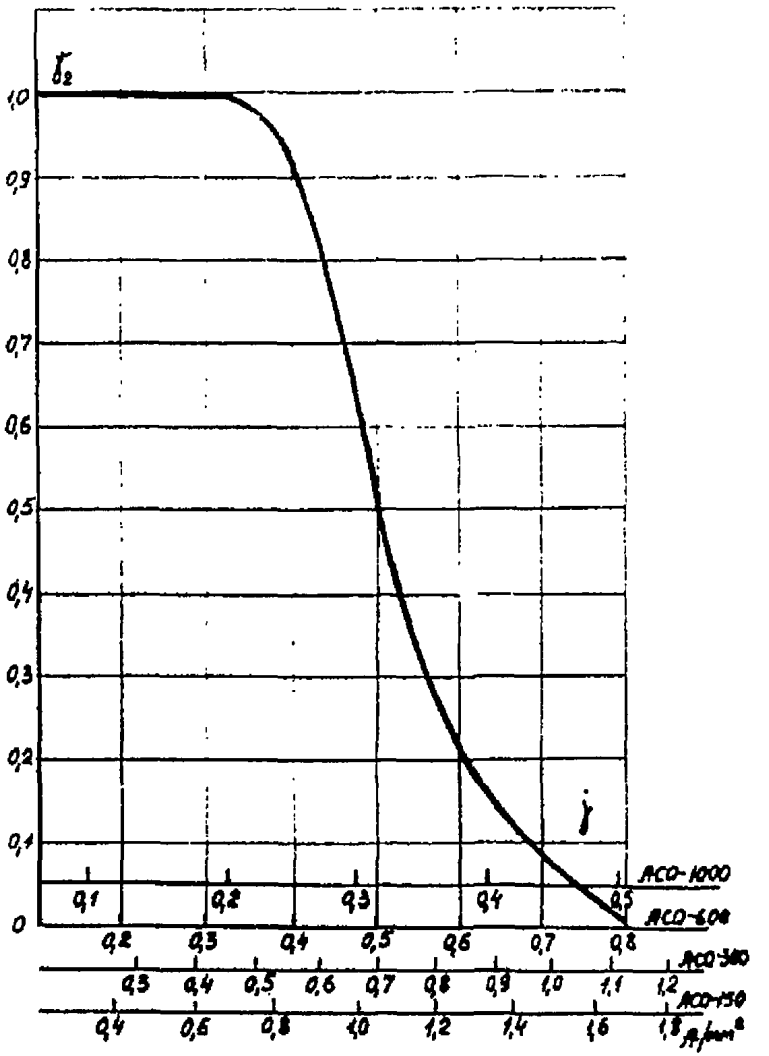



Рис. 12 Зависимость коэффициента $\gamma_2$ от плотности тока

**Погрешность расчета мощности потерь на корону по обобщенным характеристикам**

50. Погрешность метода расчета среднегодовой мощности потерь на корону по обобщенным характеристикам $\sigma_p$ сравнительно велика. При технико-экономических сравнениях вариантов одной и той же ВЛ с различными проводами она составляет около 20%.

51. Расхождение в величинах вычисленных среднегодовых мощностей потерь на корону для сравниваемых проводов- рассматриваемой линии существенно, если

$$\frac{\bar{P}_{макс}-\bar{P}_{мин}}{\bar{P}_{мин}} > 0{,}2, \qquad (31)$$

и неразличимо при

$$\frac{\bar{P}_{макс}-\bar{P}_{мин}}{\bar{P}_{мин}} \leq 0{,}2, \qquad (32)$$

где $\bar{P}_{макс}$ и $\bar{P}_{мин}$ соответственно наибольшая и наименьшая мощность потерь на корону, для сравниваемых проводов.

52. В случае соблюдения неравенства (32) все $N$ сравниваемых проводов должны характеризоваться одной и той же усредненной величиной среднегодовых потерь $\bar{P}$:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{к=1}^{N} \bar{P}_к}{N} \text{ кВт/км (Вт/м)}, \qquad (33)$$

где $\bar{P}_к$ - среднегодовая мощность потерь на корону для $к$-го варианта провода, кВт/км (Вт/м);

$N$ - число сравниваемых вариантов данной линии с разными проводами.

# РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ ДЛЯ ВЛ ПОСТОЯННОГО ТОКА

53. Значение среднегодовой мощности потерь на корону для ВЛ постоянного тока определяется по обобщенным характеристикам, полученным на униполярных и биполярных опытных линиях электропередачи, конструктивное исполнение которых приведено на рис. 13*.

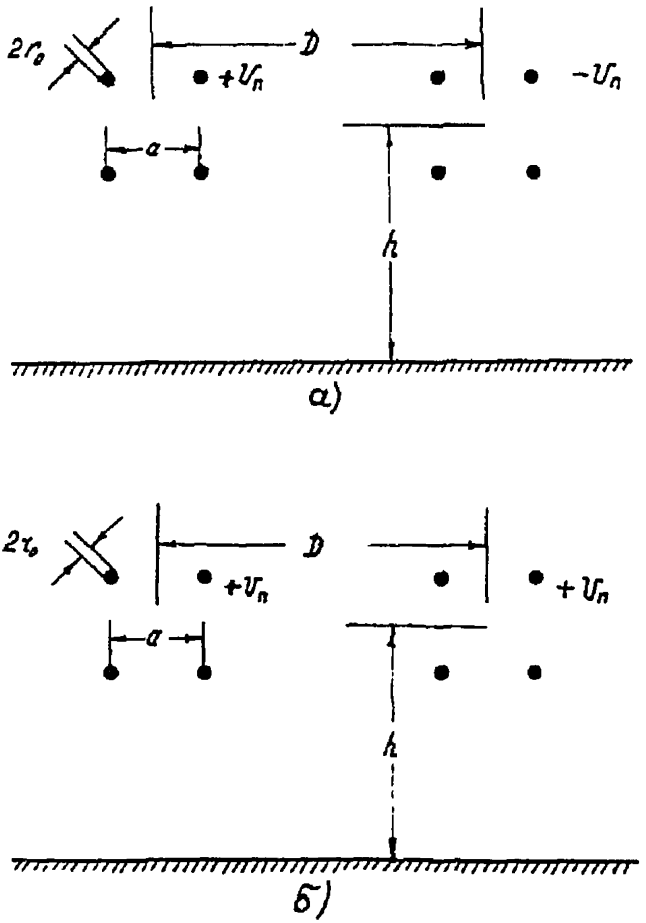



Рис. 13 Линии постоянного тока:
*а* - биполярный вариант линии; *б* - униполярный вариант линии

---

* При опытах отношение $\frac{D}{h}$ составляло 0,2-0,5 для биполярных линий и 0,4÷0,5 для униполярных линий.

54. Вследствие сравнительно слабой **зависимости** потерь на ВЛ постоянного тока от вида осадков средние уровни потерь при **дожде** и изморози приблизительно одинаковы.

На рис. 14 даны обобщенные характеристики короны для групп погоды по п. 4 (данные для дождя и изморози объединены одной кривой).

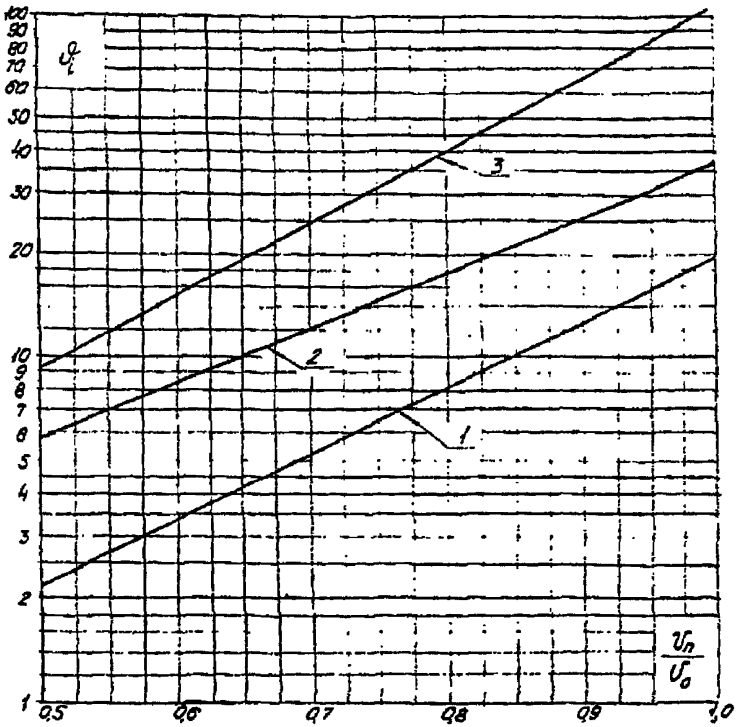



Рис. 14 Обобщенные характеристики тока короны:
1 - хорошая погода; 2 - сухой снег; 3 - дождь и изморозь

55. Обобщенные характеристики короны представляют собой зависимости

$$\vartheta_i = f(U_n/U_0)$$

Для биполярной линии

$$\vartheta_i = \frac{(D/2)^2}{U_0^2} I; \qquad (34)$$

для двухполюсной униполярной линии

$$\vartheta_i = \frac{h^2}{U_0^2} I; \qquad (35)$$

для однополюсной униполярной линии

$$\vartheta_i = \frac{0{,}8h^2}{U_0^2} I, \qquad (36)$$

где $I$ - удвоенный ток короны, **биполярной линии или ток на** один полюс униполярной линии, мкА/м ($10^{-6}$ А/м);

$D$ - расстояние между полюсами, см ($10^{-2}$м);

$U_0$ - начальное напряжение общей короны в хорошую погоду относительно земли, кВ($10^3$В).

56. **Начальное напряжение** $U_0$ может быть подсчитано по одной из формул:

$$U_0 = \frac{2\pi\Sigma_0 n r_0 E_0}{\kappa_н C} \text{ кВ}(10^3 \text{ В}) \qquad (37)$$

или

$$U_0 = U_п \frac{E_0}{\kappa_н E} \text{ кВ}(10^3 \text{ В}), \qquad (38)$$

где $\kappa_н$ - коэффициент неравномерности - см (5);

$C$ - емкость линии на единицу длины, пФ/м($10^{-12}$ ф/м).

Методика определения емкости и напряженности поля на поверхности проводов изложена в приложении 1. При вычислении емкости полюса $C$ и напряженности на проводах $E$ ВЛ постоянного тока в (62) и (70) следует подставлять значение минимальной высоты провода над землей $h_{мин}$.

Начальная напряженность короны $E_0$ вычисляется по формуле (10), при этом относительную плотность воздуха $\delta$ следует учитывать только для хорошей погоды (см. приложение 2).

57. Значение среднегодовой мощности потерь на корону определяется по обобщенным характеристикам рис. 14 с учетом вероятности каждой группы погоды:

для биполярной линии

$$\bar{P} = \frac{U_0^2 U_п}{(D/2)^2} \cdot 10^3 \left[\vartheta_{х.п}\psi_{х.п} + \vartheta_{с.с}\psi_{с.с} + \vartheta_{д.из}\psi_{д.из}\right] \text{ кВт/км(Вт/м)}; \qquad (39)$$

для двухполюсной униполярной линии (на 2 полюса)

$$\bar{P} = \frac{2U_0^2 U_п}{h^2} \cdot 10^{-3} \left[\vartheta_{х.п}\psi_{х.п} + \vartheta_{с.с}\psi_{с.с} + \vartheta_{д.из}\psi_{д.из}\right] \text{ кВт/км(Вт/м)}; \qquad (40)$$

для однополюсной униполярной линии

$$\bar{P} = \frac{1{,}25U_0^2 U_п}{h^2} \cdot 10^{-3} \left[\vartheta_{х.п}\psi_{х.п} + \vartheta_{с.с}\psi_{с.с} + \vartheta_{д.из}\psi_{д.из}\right] \text{ кВт/км(Вт/м)}. \qquad (41)$$

Вероятность различных групп погоды $\psi_i$ вычисляется по данным наблюдений метеостанций вблизи трассы ВЛ в соответствии с рекомендациями приложения 3 и данными приложения 4.

58. При использовании усредненной вероятности различных погод $\overline{\psi_1}$, приведенной в табл. 3, величина среднегодовой мощности потерь на корону в районах с умеренным климатом может быть оценена по одной обобщенной характеристике $\vartheta_{x.n}$, полученной в условиях хорошей погоды (рис.15). В этом случае среднегодовая мощность потерь на корону для биполярной линии вычисляется по формуле

$$\bar{P} = \frac{1{,}5 U_0^2 U_n}{(D/2)^2} \vartheta_{x.n} \cdot 10^{-3} \quad \text{кВт/км(Вт/м)}; \qquad (42)$$

для двухполюсной униполярной линии (на шва полюса) соответственно

$$\bar{P} = \frac{3 U_0^2 U_n}{h^2} \cdot \vartheta_{x.n} \cdot 10^{-3} \quad \text{кВт/км(Вт/м)}; \qquad (43)$$

и для однополюсной униполярной линии

$$\bar{P} = \frac{1{,}875 U_0^2 U_n}{h^2} \vartheta_{x.n} \cdot 10^{-3} \quad \text{кВт/км(Вт/м)}. \qquad (44)$$

59. Из-за сравнительно низких кратностей потерь на корону при плохой погоде по отношению к потерям в хорошую погоду при вычислении мощности потерь на корону на ВЛ постоянного тока уточнение влияния нагрева проводов нецелесообразно.

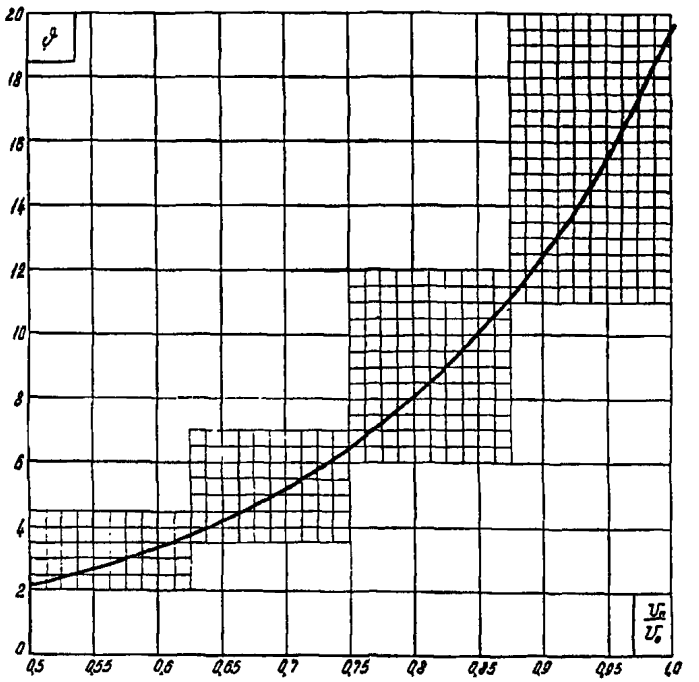



Рис. 15 Обобщенная характеристика тока короны для хорошей погоды

# РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ ДЛЯ ГОРНЫХ ВЛ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

60. Особенности выбора проводов для горных линий обусловлены уменьшением среднегодовой относительной плотности воздуха $\overline{\delta}$ (см. рис.2). Кроме того, провода горных ВЛ могут иметь более низкое значение коэффициента негладкости $m$ из-за механических дефектов поверхности, обусловленных протяжкой провода при монтаже по каменистому грунту или скальным породам. Вследствие особой чистоты атмосферы в горных районах отсутствует эффект старения проводов. По этим причинам при равных максимальных напряженностях электрического поля на проводах мощность потерь на корону горной ВЛ значительно превышает мощность потерь соответствующей равнинной линии.

Учитывая специфику указанных линий, содержание раздела следует распространять и на горные ВЛ напряжением 220 кВ, для которых потери на корону могут иметь существенное значение.

61. Среднегодовая мощность потерь на корону горной ВЛ вычисляется по формуле (27) с использованием обобщенных характеристик

$$\theta_i = \frac{P_i}{n r_0^2}, \qquad (45)$$

полученных по результатам многолетних измерений на горных опытных линиях (рис. 16, 17, 18) или по рис.8 (табл.4).

62. При вычислении $E_0$ по формуле (10) среднегодовая относительная плотность воздуха $\overline{\delta}$ учитывается при всех группах погоды, а коэффициент негладкости $m$ сталеалюминиевых проводов АС, АСО, АСУ для хорошей погоды и сухого снега изменяется от 0,72 до 0,82 в зависимости от способа монтажа и характеристик грунта. Для дождя и изморози равен 0,82 независимо от условий монтажа и грунта (см. табл.4).

Таблица 4

Коэффициент $m$ и соответствующие ему обобщенные характеристики $\theta_t$ для горных ВЛ

| Группа погоды | Характеристика грунта | Монтаж проводов линии электропередачи | $m$ | Номер рисунка |
|---|---|---|---|---|
| Хорошая погода и сухой снег | Скальный, перевальные участки | С раскаткой проводов с барабана и протяжкой их по грунту | 0,72 | 16 |
| | Песчаный, глинистый, травянистый с вкраплением камней | С раскаткой проводов с барабана и протяжкой их по грунту | 0,78 | 17 |
| | Хороший грунт при отсутствии камней | С раскаткой проводов с барабана и протяжкой их по грунту | 0,82 | 8 |
| | Любой грунт | Под тяжением с барабана без протяжки их по грунту | 0,82 | 8 |
| Дождь и изморозь | Любой грунт | Независимо от способа монтажа | 0,82 | 18 |

63. Классификация групп погода сохраняется такой же, как и для равнинных линий. Для горных линий вероятность различных групп погоды следует брать по данным метеостанций, расположенных вблизи трассы линии, учитывая при этом, что существенную роль играет ориентация склонов. Для горных районов Армянской ССР и Средней Азии сведения о продолжительности разных групп погоды содержатся в табл. 7 (см. приложение 4).

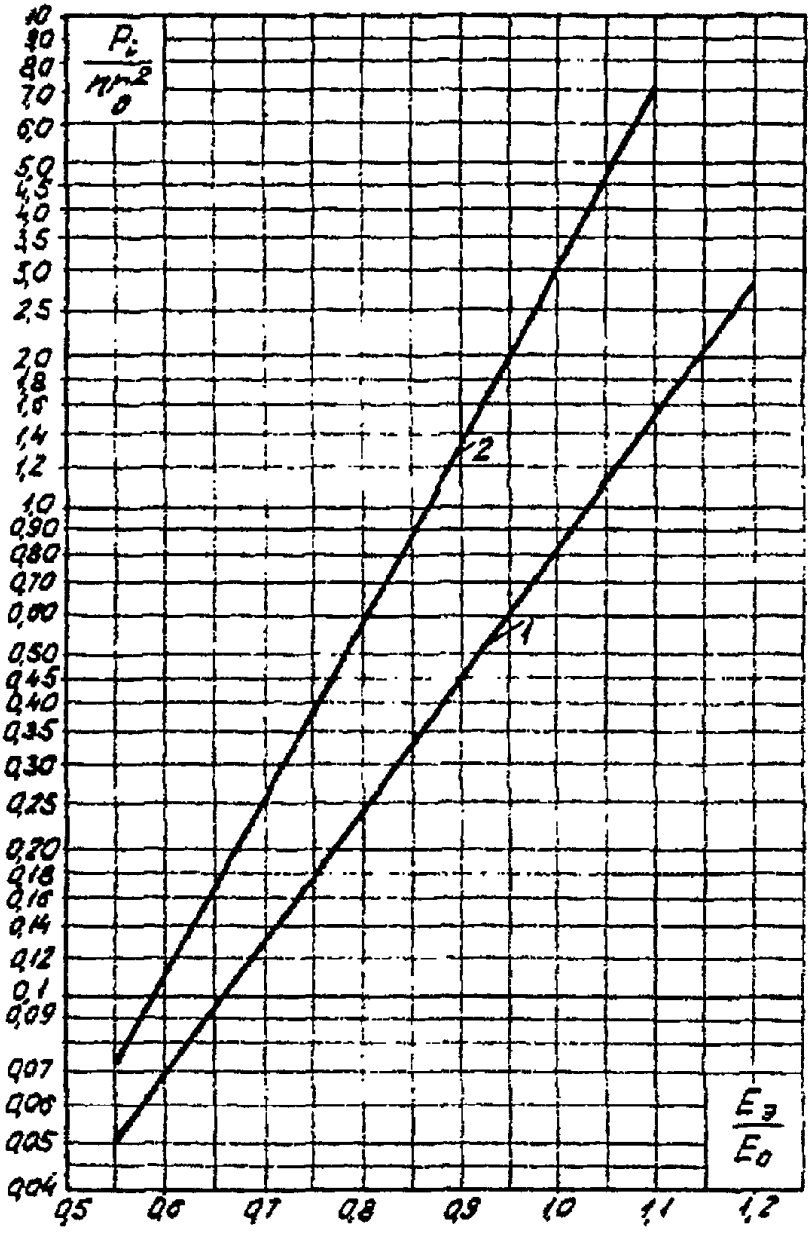



Рис.16 Обобщенные характеристики потерь на корону при $m = 0,72$:
1 - хорошая погода; 2 - сухой снег

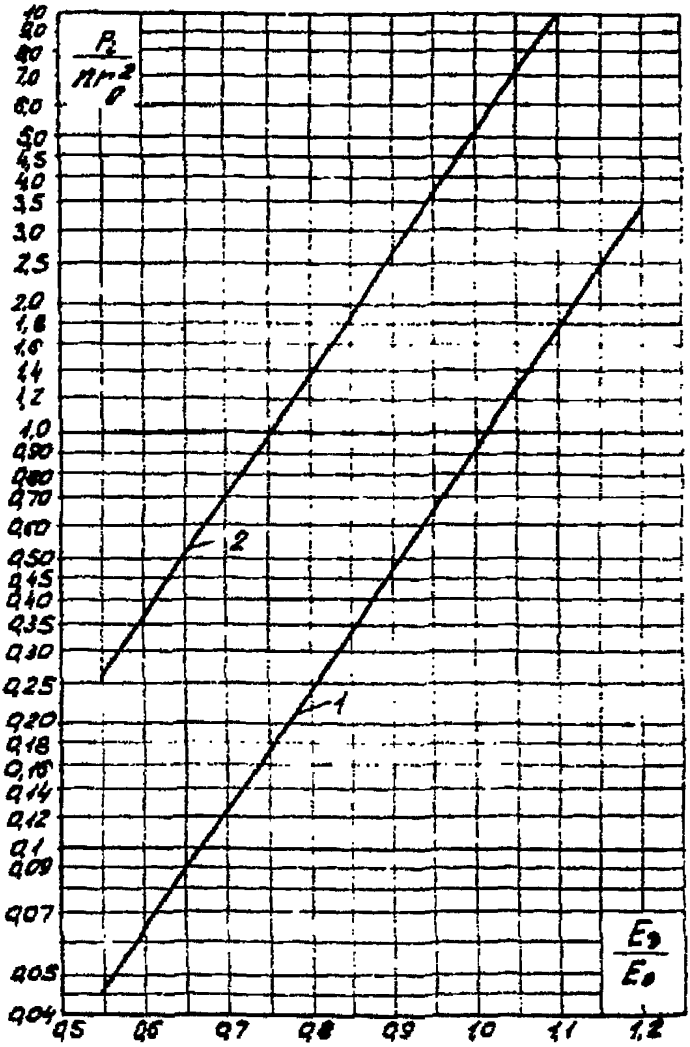



Рис. 17 Обобщенные характеристики потерь на корону при $m = 0{,}78$:
1 - хорошая погода; 2 - сухой снег

64. Влияние нагрева проводов током нагрузки на величину потерь от короны учитывается так же, как в пп. 41-49.

65. В обобщенную характеристику потерь на корону, полученную при дожде (см. рис. 18) с интенсивностью, характерной для горных ВЛ, при вычислении потерь $\overline{P}$ поправка на интенсивность дождя не вводится.

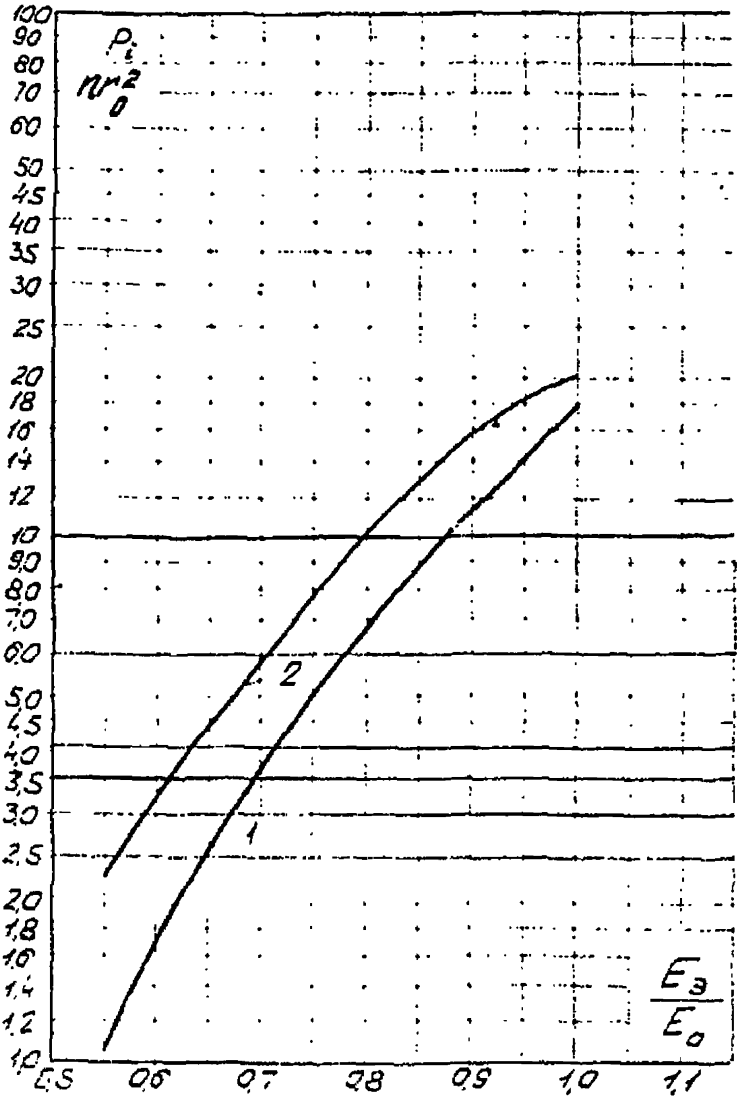



Рис. 18 Обобщенные характеристики потерь на корону при $m$ = 0,82:
1 - дождь; 2 – изморозь

66. При прохождении трассы ВЛ по нескольким перевальным участкам, являющиеся водоразделами, трасса делится на зоны с отличающимися друг от друга тематическими условиями.

67. Каждая зона трассы должна иметь как минимум одну метеостанцию. Длина такой зоны может быть различной в зависимости от профиля местности, но не должна выходить за пределы данного климатического района.

68. Для более точного учета величины $\bar{\delta}$ внутри зоны трассу линий необходимо также делить на ряд участков путем проведения на профиле трассы горизонталей по высоте. В зависимости от величины $E_э$ и необходимой точности расчета расстояние по высоте между горизонталями может быть принято равным 200-500 м. При этом большие значения относятся к более крутым участкам трассы.

69. Среднегодовое значение относительной плотности воздуха $\bar{\delta}$ и соответствующее ей значение начальной напряженности $E_0$ для средней точки данного участка трассы линии следует определять по номограмме, приведенной на рис. 2. Полученные значения $E_0$ надо умножить на коэффициент негладкости $m$ (см. табл. 4).

70. Среднегодовая мощность потерь на корону всей линии $\bar{P}_L$ получается суммированием среднегодовой мощности потерь по отдельным участкам трассы ($\ell_1, \ell_2, \ldots \ell_K$) по формуле

$$\bar{P}_L = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^{K} \bar{P}_j \ell_j \quad \text{кВт/км(Вт/м)}, \qquad (46)$$

где $\bar{P}_j$ - среднегодовая мощность потерь на $j$- м участке трассы линии, вычисленная по формуле (27);

$$L = \ell_1 + \ell_2 + \cdots + \ell_K \quad \text{км}(10^3 \text{ м}). \qquad (47)$$

# ОЦЕНКА ЗАТРАТ ПРИ ВЫБОРЕ ПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ НА КОРОНУ

71. Выбор оптимальной конструкции проводов фазы сводится к отысканию такой совокупности параметров провода (радиус $r_0$, число $n$, сечение $S$ составляющего расщепленного провода и радиус расщепления проводов $r_p$), которая обеспечивает при заданной передаваемой мощности минимум приведенных затрат, связанных с сооружением и эксплуатацией линии электропередачи в целом. Эти затраты должны включать стоимость сооружения воздушной линии (опор, фундаментов, проводов, изоляции и других элементов линии), а также затраты на обслуживание ВЛ и на возмещение потерь на нагрев проводов и на корону.

### ВЛ переменного тока

72.При выборе оптимального варианта провода сопоставляются несколько вариантов проводов, для которых:

а) плотность тока выбирается близкой к экономической $j_{эк}$*;

б) уровень радиопомех не превышает допустимого;

в) обеспечивается механическая надежность проводов*.

Основные параметры сопоставляемых проводов ($r_0$ и $n$) должны охватывать следующие диапазоны:

$$n \leq 0{,}9 \cdot 10^{-2} U_н ; \qquad (48)$$

$$r_0 \geq 10^{-1} \sqrt{\frac{1}{\pi k_з n} \cdot \frac{I^{пр}_{расч}}{j_{эк}}} \text{ см} (10^{-2} \text{ м}), \qquad (49)$$

где $U_н$ - номинальное напряжение линии электропередачи, кВ ($10^3$ В);

$I^{пр}_{расч}$ - приведенный расчетный ток, определенный с учетом фактора времени, А*;

$j_{эк}$ - экономическая плотность тока, $\frac{А}{мм^2}$ ($10^6$ А/м$^2$);

$k_з$ - коэффициент заполнения сечения провода алюминием, равный 0,64; 0,67 и 0,61 для проводов АС, АСО и АСУ соответственно.

Для ВЛ с отборами мощности экономическая плотность тока для каждого из $\ell$ участков линии отличается от нормируемого значения $j_{эк}$ множителем

* "Справочник по проектированию линий, электропередачи". Под ред. М.А.Реута и С.С. Рокотяна. "Энергия", М., 1971

$\sqrt{\sum_{k=1} \eta_k \xi_k^2}$, где $\eta_к$ - относительная длина $к$-го участка ВЛ, равная отношению его длины к длине всей ВЛ; $\xi_к$ - относительная нагрузка $к$-го участка ВЛ, равная отношению тока этого участка к току в начале линии.

73. При расчете приведенных затрат на ВЛ для каждого варианта конструкции провода следует учитывать различие удельных затрат на нагрев проводов $З'_э$ и на корону $З''_э$.

Удельные затраты $З'_э$ и $З''_э$ различны для региональных объединенных энергосистем (ОЭС) страны и, кроме того, является функцией годового времени, максимальных потерь (при оценке стоимости потерь энергии на нагрев проводов) и коэффициента попадания потерь $\tau$ на корону в максимум нагрузки $\alpha$ (при оценке стоимости потерь на корону). Эти зависимости приведены на рис. 13.*

Удельные затраты на возмещение потерь на нагрев проводов и корону, включающие в себя и капитальные затраты на дополнительную мощность электростанции, могут быть найдены по формулам:

$$З'_э = З_{э1} + \frac{З_{э2} \tau \cdot 10^3}{\tau} \text{ коп/(кВт·ч)} \left[10^{-3} \text{ коп/(Вт·ч)}\right]; \quad (51)$$

$$З''_э = З_{э1} + \frac{З_{э2} \cdot 10^3 \alpha}{8760} \text{ коп/(кВт·ч)} \left[10^{-3} \text{ коп/(Вт·ч)}\right], \quad (51)$$

$З_{э1}$ и $З_{э2}$ - коэффициенты при постоянной и переменной составляющих удельных затрат на возмещение потерь в электрических сетях (табл. 5);

$\tau$ - годовое время максимальных потерь, вычисляемое по формуле

$$\tau = 8760(0,124 + 10^{-4} \cdot T_{макс})^2 \text{ ч}, \quad (52)$$

где $T_{макс}$ - число часов наибольшей передаваемой мощности ВЛ в год.

Коэффициент $\alpha$ равен отношению мощности потерь на корону в момент наибольшей. передаваемой по ВЛ мощности потерь на корону $\alpha = P'/\overline{P}$.

* "Справочник по проектированию электрических систем". Под ред. С.С.Рокотяна и И.М.Шапиро. "Энергия", М., 1971.

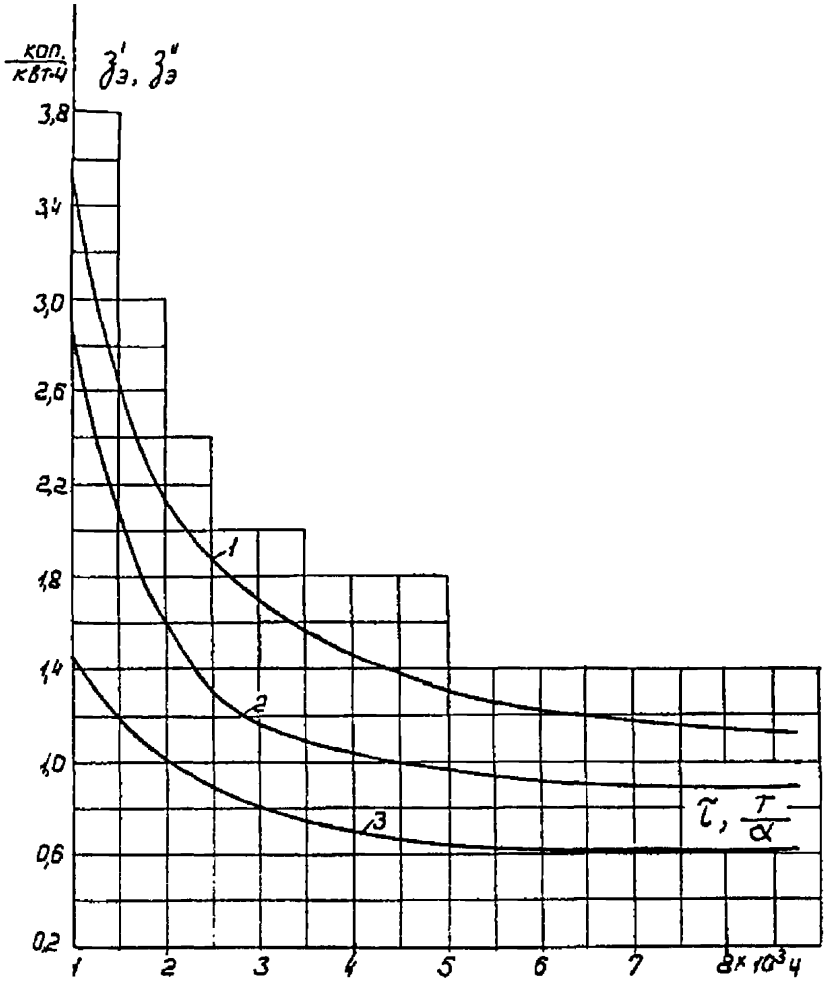



Рис.19. Удельные затраты на возмещение потерь в электрических сетях:
1 - ЕЭЭС СССР; 2 - ОЭС восточных районов страны (кроме ОЗС Сибири; 3 - ОЭС Сибири (Т = 8760 ч)

При сопоставлении вариантов проводов рекомендуется принимать $\alpha = 1$, т.е. при расчете $\dot{З}''_э$ следует ориентироваться на величину $P$, равную среднегодовым потерям на корону. При этом предполагается, что все превышения мощности потерь на корону будут покрываться за счет резерва мощности в ОЭС.

В некоторых случаях проектной практики может потребоваться более детальное изучение вопроса о совпадении наибольшей передаваемой по линии мощности с повышенной мощностью потерь на корону. Для расчета коэффициента $\alpha$ необходимо знать, с одной стороны, периоды (сезонные, месячные, суточные) в течение года,

когда нагрузка линии электропередачи приближается к наибольшей передаваемой мощности или достигает ее, и, с другой стороны, распределение мощности потерь на корону в те же периоды в долях среднегодовой мощности потерь на корону, Упрощенная методика определения $\alpha$ приведена в приложении 5.

Таблица 5

Значения коэффициентов удельных затрат

| Энергосистемы | Величина коэффициента | |
|---|---|---|
| | $З_{э1}$ коп/(кВт·ч) | $З_{э2}$, коп/кВт |
| Входящие в ОЭС Европейской части СССР | 0,7 | 3 |
| Входящие в ОЭС Восточных районов СССР (кроме ОЭС Сибири) | 0,6 | 2 |
| Входящие в ОЭС Сибири ... | 0,5 | 1 |

74. Стоимость потерь энергии на нагрев $З_н$ и корону $З_к$ на три фазы может быть вычислена по формулам

$$З_н = З'_э P_н \tau' \cdot 10^{-5} \text{ тнс.руб./км}, \qquad (53)$$

$$З_к = З''_э \bar{P} \cdot 8760 \cdot 10^{-5} \text{ тнс.руб/км}, \qquad (54)$$

где $P_н$ - потери на нагрев, получаемые из выражения

$$P_н = 3 j^2 \rho_0 s_a 10^{-3} \text{ кВт/км (Вт/м)}, \qquad (55)$$

где $j$ - наибольшая фактическая плотность тока в проводах, А/мм$^2$ ($10^6$ А/м$^2$);

$s_a$ - расчетное сечение фазы по алюминию, мм$^2$ ($10^{-6}$ м$^2$);

$\rho_0$ - удельное сопротивление алюминия $30{,}5 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{км}}$ ($10^{-9} \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}}$).

Пример расчета стоимости потерь энергии с учетом мощности потерь на корону дан в приложении 6.

### ВЛ постоянного тока

75. Для выбора оптимального варианта провода ВЛ постоянного тока используется в основном та же методика, что и для ВЛ переменного тока. К сопоставлению намечаются несколько вариантов проводов, удовлетворяющих критериям п.72. На ВЛ постоянного тока рекомендуется использовать наименьшее допустимое по критерию п.72,б число составляющих расщепленных проводов $n$.

Для ВЛ постоянного тока принимается $\alpha = 1$. По экономической плотности тока $j_{эк}$, току в полюсе $I_n$ ВЛ постоянного тока и числу составляющих проводов в полюсе $n$ определяется радиус составляющего провода по формуле, аналогичной (49):

$$r_0 \geqslant 10^{-1} \sqrt{\frac{1}{\pi k_з n} \frac{I_n}{j_{эк}}} \text{ см} (10^{-2} \text{ м}), \qquad (56)$$

# Приложение 1

## РАСЧЕТ ЗАРЯДОВ НА ПРОВОДАХ И РАБОЧИХ ЕМКОСТЕЙ ВЛ

### Расчет зарядов на проводах ВЛ

В основу расчета для произвольной $N$ -проводной ВЛ положено решение системы уравнений Максвелла

$$\dot{U}_K = \sum_{i=1}^{N} \alpha_{Ki} \dot{q}_i \quad (K = 1, 2, \ldots, N), \qquad (57)$$

где $\dot{U}_к$ - напряжение $к$ -го провода;

$\dot{q}_i$ - линейная плотность заряда $i$ - го провода;

$\alpha_i$ - потенциальные коэффициенты, равные

$$\alpha_{KK} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{2h_K}{r_{эк}}; \quad \alpha_{Ki} = \alpha_{iK} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{D'_{Ki}}{D_{Ki}}. \qquad (58)$$

Здесь $h_к$ - эквивалентная высота $к$ -го провода над землей;

$D_{кi}$ - расстояние между $к$-м и $i$-м проводами;

$D'_{кi}$ - расстояние между $к$-м проводом и зеркальным отображением $i$ -го провода в плоскости земли;

$r_{эк}$ - эквивалентный радиус $к$-го провода. Под эквивалентным радиусом провода, расщепленного на $n$ составляющих, понимается радиус одиночного провода, эквивалентного по емкости расщепленному. Значение $r_э$ определяется из выражения

$$r_э = (n r_0 r_p^{n-1})^{1/n}, \qquad (59)$$

где радиус расщепления провода

$$r_p = \frac{a}{2\sin\frac{\pi}{n}}. \qquad (60)$$

Решая систему уравнений (57), получим

$$\dot{q}_K = \sum_{i=1}^{N} \beta_{Ki} \dot{U}_i \quad (K = 1, 2, \ldots, N), \qquad (61)$$

где $\beta_{кi}$ - коэффициенты электростатической индукции, имеющие размерность емкости, Матрицу коэффициентов $\beta_{кi}$ можно получить путем обращения матрицы коэффициентов $\alpha_{кi}$. Коэффициенты $\beta_{кi}$ можно также вычислить по формуле

$$\beta_{Ki} = \frac{(-1)^{K+i} M_{iK}}{\Delta}, \qquad (62)$$

где $\Delta$ - определитель системы уравнений (57);

$M_{ik}$ - минор, полученный из определителя при вычеркиваний $i$ -й строки и $k$ - го столбца.

Полученные в выражении (61) значения комплексных зарядов можно использовать для расчета напряженностей поля на проводах по формулам (2) и (3).

Для расчета напряженностей поля на проводах по формулам (7) и (8) используется рабочая емкость провода, которая определяется как отношение линейной плотности заряда провода к фазному напряжению ВЛ.

Емкости одноцепных трехфазных ВЛ с произвольным расположением проводов без грозозащитных тросов.

При расчете емкостей трехфазных ВЛ часто полагают, что фазы зарядов и напряжений на проводах совпадают. При этом емкости проводов равны.

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \beta_{11} - \frac{1}{2}(\beta_{12}+\beta_{13}); \\ C_2 &= \beta_{22} - \frac{1}{2}(\beta_{12}+\beta_{23}); \\ C_3 &= \beta_{33} - \frac{1}{2}(\beta_{13}+\beta_{23}). \end{aligned}\right\}, \tag{63}$$

где

$$\left.\begin{aligned} \beta_{11} &= \frac{\alpha_{22}\alpha_{33}-\alpha_{23}^2}{\Delta}; & \beta_{22} &= \frac{\alpha_{11}\alpha_{33}-\alpha_{13}^2}{\Delta}; \\ \beta_{33} &= \frac{\alpha_{11}\alpha_{22}-\alpha_{12}^2}{\Delta}; & \beta_{12} &= \frac{\alpha_{13}\alpha_{23}-\alpha_{12}\alpha_{13}}{\Delta}; \\ \beta_{13} &= \frac{\alpha_{12}\alpha_{23}-\alpha_{13}\alpha_{22}}{\Delta}; & \beta_{23} &= \frac{\alpha_{12}\alpha_{13}-\alpha_{23}\alpha_{11}}{\Delta} \end{aligned}\right\}. \tag{64}$$

Емкость одноцепных трехфазных ВД при горизонтальном расположении проводов и двух заземленных тросах

Емкость $C_2$ средней фазы и среднюю емкость $C$ всех фаз в диапазоне изменения отношения $h/D$ от 0,6 до 1,5 можно вычислить с погрешностью не более 1% при помощи следующих выражений:

$$C_2 = 2\pi\varepsilon_0\Delta_2; \qquad \bar{C} = 2\pi\varepsilon_0\bar{\Delta};$$
$$2\pi\varepsilon_0 = 55{,}6 \text{ пФ/м}, \tag{65}$$

где

$$\left.\begin{aligned}\Delta_2 &= 0{,}98\Delta_0 + \left[0{,}05\left(\frac{h}{D}\right)^{-2{,}8} + 0{,}5\right]\Delta_0^2;\\ \bar{\Delta} &= 0{,}99\Delta_0 + \left[0{,}2\left(\frac{h}{D}\right)^{-1{,}5} + 0{,}08\right]\Delta_0^2;\end{aligned}\right\} \quad (66)$$

$$\Delta_0 = \frac{1}{\ell n \frac{\sqrt[3]{2}\,D}{r_э}}, \quad (67)$$

*h*- эквивалентная высота провода над землей, м;

*D* - расстояние между фазами ВЛ, м.

Для определения величин $\Delta_2$ и $\bar{\Delta}$ можно использовать зависимости, построенные на рис. 20 и 21.

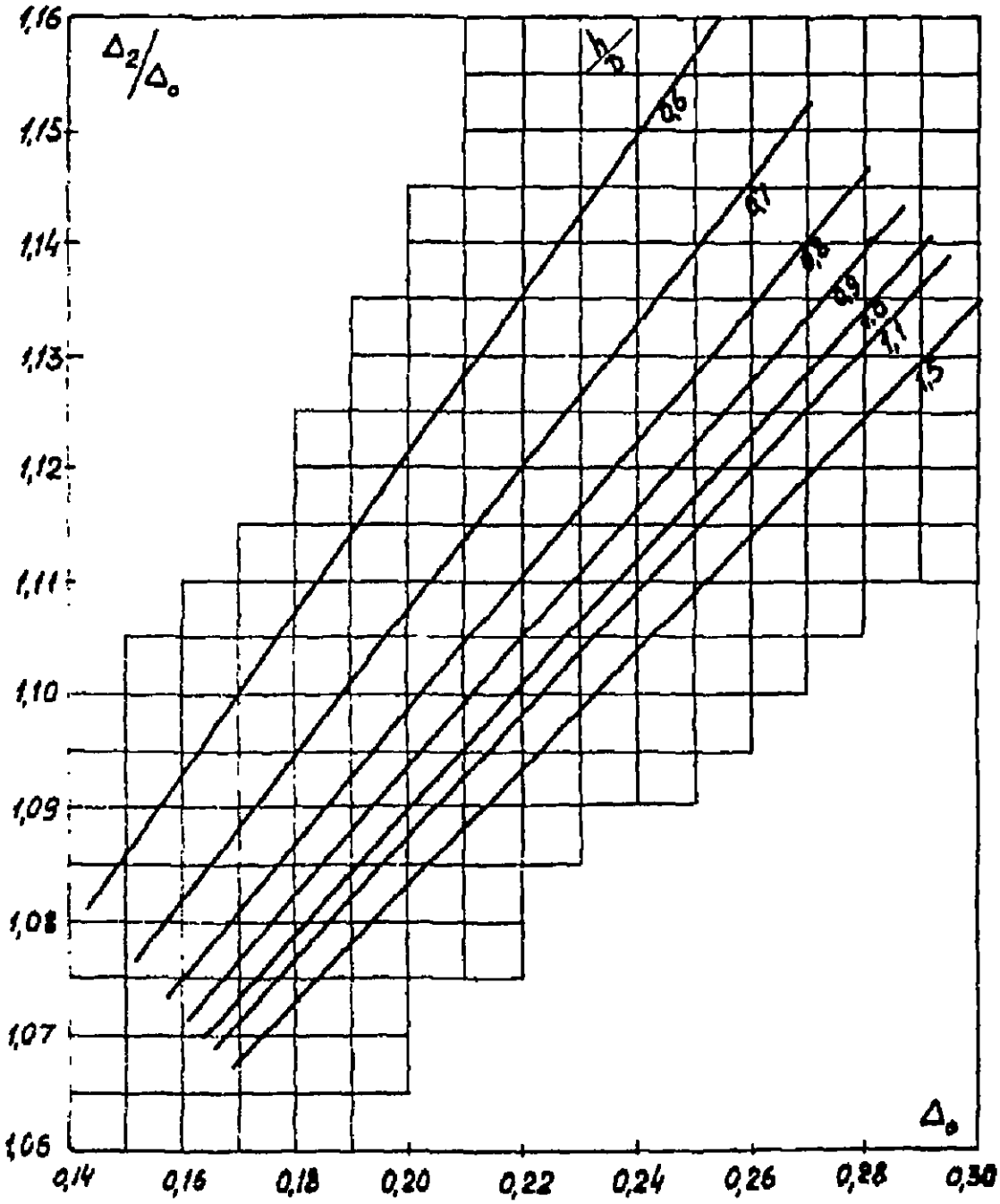


Рис. 20 К вычислению емкости средней фазы

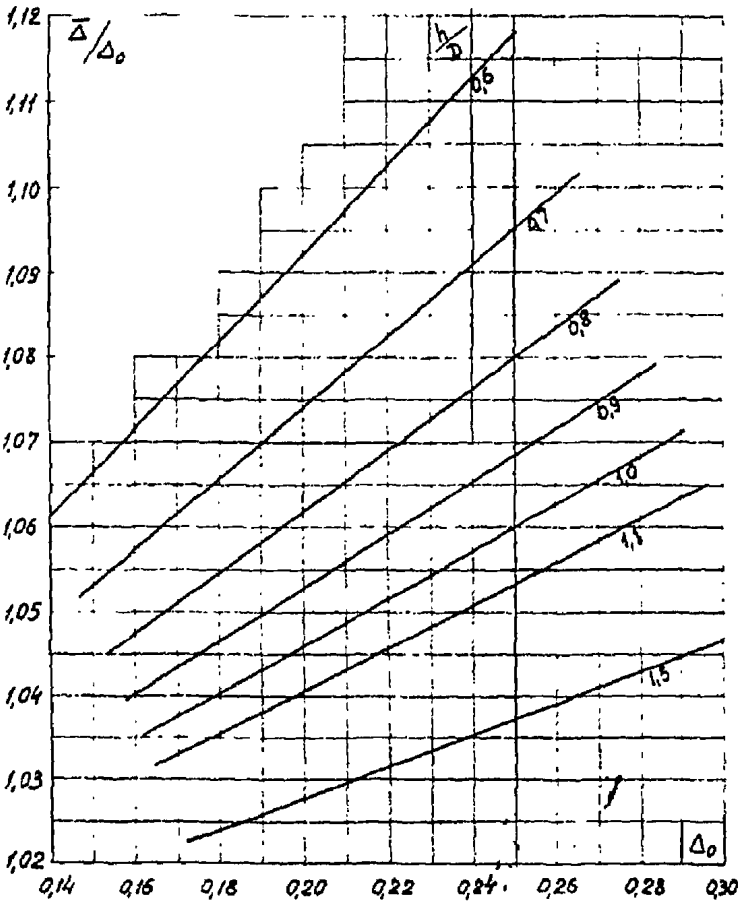



Рис. 21. К вычислению средней емкости трехфазной линии

Емкость крайней фазы определяется как

$$C_1 = 0{,}5\left(3\bar{C} - C_2\right). \qquad (68)$$

Емкость ВД постоянного тока с горизонтальным расположением проводов без тросов

Для биполярной ВЛ

$$C = \frac{1}{\alpha_{11} - \alpha_{12}} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln \frac{D}{r_э\sqrt{1+(D/2h)^2}}}. \qquad (69)$$

Для униполярной ВЛ

$$C = \frac{1}{\alpha_{11} + \alpha_{12}} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln \frac{2h\sqrt{1+(2h/D)^2}}{r_э}}. \qquad (70)$$

Расчет эквивалентной высоты проводов над землей для определения средних емкостей проводов в пролете

Эквивалентная высота провода нал. землей вычисляется по формуле

$$h = h_{мин} + gf, \qquad (71)$$

где $h_{мин} = h_{макс} - f$;

$f$ - средняя за год стрела провеса, обусловленная колебаниями температуры воздуха; м;

$h_{мин}$ - минимальная высота провода над землей, м;

$h_{мах}$ - высота подвеса провода на опоре, м.

Коэффициент $g$ определяется из условий равенства емкостей реальной линии с провисающими проводами и условной линии, провода которой не провисают и находятся на эквивалентной высоте $h$ над землей.

Для линии 330 кВ коэффициент $g$ следует принимать равным 1/3. Для линий 500 кВ и более высокого напряжения коэффициент $g$ определяется в зависимости от $h_{мин}/f$ из кривой на рис. 22.

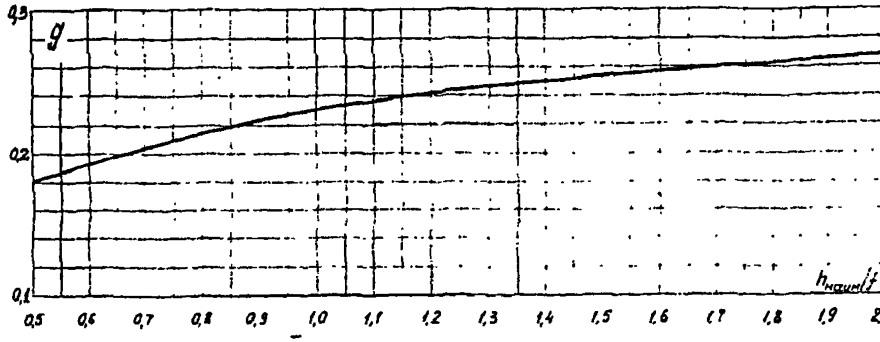



Рис. 22. К вычислению эквивалентной высоты провода, над землей

Программа на языке "Алгол-60" для расчета емкостей
и напряженностей поля на проводах и тросах ВЛ
с произвольной конфигурацией.

Программа составлена применительно к многопроводной ВЛ с одинаковыми одиночными или расщепленными проводами (фазами) и одиночными грозозащитными тросами.

При составлении алгоритма расчета напряженностей были использованы выражения (57)-(60) и (2)-(5). Емкости определяются как отношения модулей зарядов и напряжений на проводах. В алгоритме использованы методы матричной алгебры.

Программа составлена применительно к транслятору типа ТА-1М.("Сигнал") и отлажена на ЭВМ типа М-220.

Программа позволяет проводить вычисления в циклах при изменении следующих параметров: числа составляющих расщепленного провода, радиуса составляющих проводов, шага расщепления провода, высот проводов и тросов, горизонтально координат проводов и тросов.

Программа под названием "Расчет напряженности электрического поля на проводах и вблизи линии электропередачи "зарегистрирована в Госфонде алгоритмов и программ, инвентарный номер П090651. автор Л. С. Перельман.

## Приложение 2

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ВОЗДУХА

### Вычисление плотности воздуха

Значения среднегодовой или среднемесячной относительной плотности воздуха $\delta$ на заданной высоте *H(м)* над уровнем моря определяются по формуле

$$\delta = \frac{\delta_{абс}}{\delta_{1абс}} = \frac{p(273+t_1)}{p_1(273+t)} = \frac{0{,}386\,p}{273+t}, \qquad (72)$$

где

$$\delta_{абс} = \frac{0{,}465\,p}{273+t} \quad кг/м^3; \qquad (73)$$

$\delta_{абс}$ - абсолютная плотность воздуха, соответствующая усредненным за год или месяц на заданной высоте Н температуре $t°\,C$ и атмосферному давлению $P$, мл рт. ст. (133 Па)*;

$\delta_{1абс}$ - абсолютная плотность воздуха при температуре воздуха $t_1 = 20°C$ и атмосферном давлении $t_1 = 760$ мм рт. ст. (133 Па), $\delta_{1абс} = 1{,}205$ кг/м$^3$.

Если атмосферное давление $p$ выражено в мбар($10^2$ Па), вместо формул (72) и (73) следует пользоваться следующими соотношениями для относительных и абсолютных значений плотности воздуха:

$$\delta = \frac{0{,}289\,p}{273+t}, \qquad (74)$$

$$\delta_{абс} = \frac{0{,}348\,p}{273+t} \text{ кг/м}^3. \qquad (75)$$

При использовании в формулах (72) и (73) или (74) и (75) значений давления и температуры, приведенных к уровню моря ($p_0$ и $t_0$) получаем значения плотности воздуха $\delta_0$, также приведенные к уровню моря. Плотность воздуха на высоте Н(м) над уровнем моря может быть вычислена по Формуле

$$\delta = \delta_0 = (1 - 0{,}029\frac{H}{273+t_0} + 0{,}00035\frac{H^2}{(273+t_0)^2}, \qquad (76)$$

где $t_0$ - температура воздуха, приведенная к уровню моря (среднегодовая или среднемесячная соответственно вычисляемому значению плотности воздуха), °С,

Коэффициенты в формуле (76) вычислены исходя из общепринятого в метеорологических руководствах температурного градиента по высоте 0,005 град/м.

---

* Значение среднегодовой относительной плотности воздуха $\delta$ следует вычислять по многолетним (не менее чем за 5 лет) среднегодовым значениям температуры воздуха и атмосферного давления.

## Сведения о величине давления и температуры

Значения атмосферного давления и температуры воздуха могут быть получены из климатологических справочников СССР (издаются территориальными управлениями гидрометеорологической службы). В целом по СССР значения температуры ($t$) и атмосферного давления ($p$) - месяцам, зафиксированные на отметке метеостанции, содержатся соответственно в Климатическом атласе СССР (изд. Главного управления гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР, 1962) и в руководстве "Давление воздуха, температура воздуха и атмосферные осадки северного полушария" (Гидрометиздат, 1959). В этом же издании имеются сведения о $p$ и $t$ по многим пунктам зарубежных стран. Приведенные к уровню моря значения $p_0$ и $t_0$ даны в метеорологических руководствах и в Климатическом атласе СССР. Для территорий Украинской ССР дополнительно издан Климатический атлас Украинской ССР.(Гидрометиздат, 1968).

В типовых расчетах можно пользоваться маломасштабными картами изолиний $\delta_0$ и $t_0$, приведенными на рис. 23 и 24. По данным рис. 24 летняя температура берется по июлю, зимняя - по январю; среднегодовая температура может определяться с достаточной точностью как их полусумма.

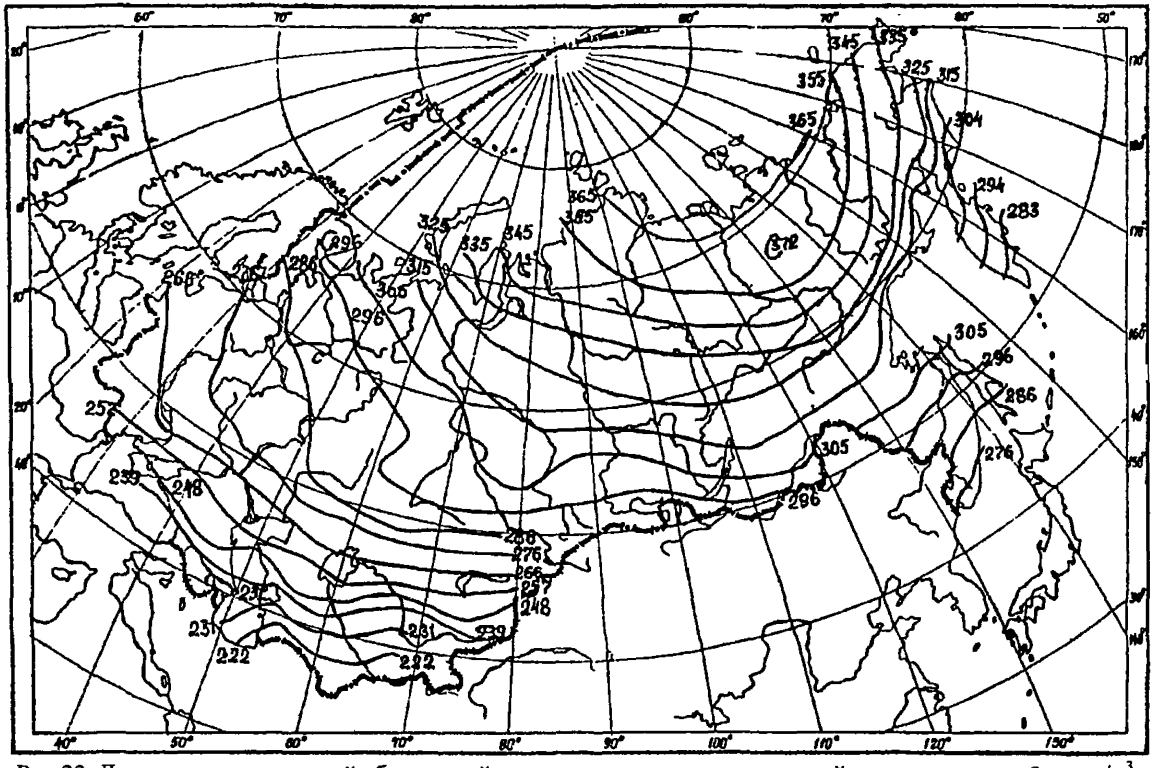



Рис.23. Линии равных значений абсолютной плотности воздуха, приведенной к уровню моря, $\delta_{0абс}$, кг/м$^3$
(обозначение единицы опущено, приведена лишь цифра после запятой, например вместо 276 следует читать 1,276)

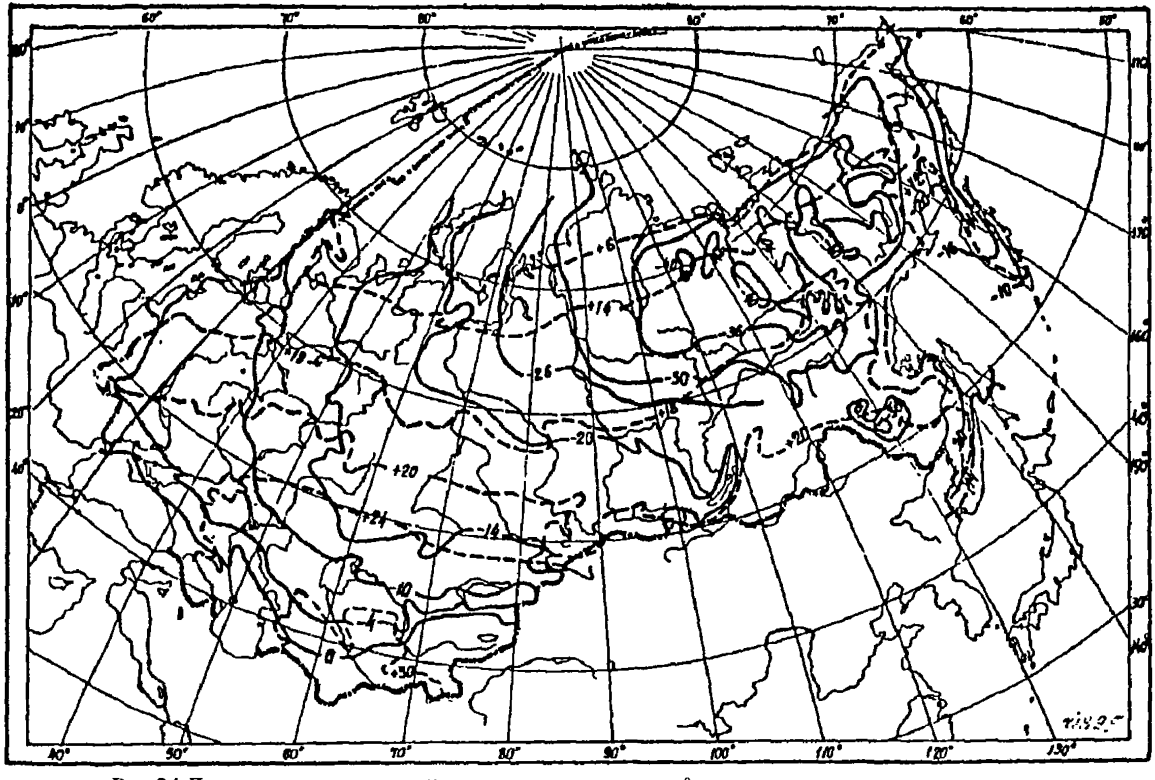



Рис.24 Линии равных значений температуры воздуха $t^0$, приведенной к уровню моря, °С:
_____ январь, _ _ _ _ _ _ июль

# Приложение 3

## МЕТОДИКА ПОДБОРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Определение продолжительности атмосферных явлений

Дождь, морось, мокрый снег. Продолжительность дождя, мороси и мокрого снега может быть получена из ежемесячных метеорологических таблиц ТМ-1, где отмечается начало и конец атмосферных явлений за каждый день. С 1959 г. в таблицах ТМ-1 приводятся сводные данные по продолжительности отдельных атмосферных явлений за месяц. С 1961 г. эти данные печатаются в метеорологических ежемесячниках (часть 2), выпускаемых территориальными управлениями гидрометслужбы.

Кроме продолжительности дождя и мороси, для оценки среднегодовой интенсивности дождя необходимы сведения о количестве осадков. Для теплого периода года они определяются по климатологическим справочникам. Данные о количестве жидких осадков за холодный период года могут быть получены из таблицы ТМ-1.

Снег. Продолжительность осадков в виде снега рассчитывается по таблице ТМ-1. С точки зрения учета потерь на корону к этой категории осадков должны относиться и такие явления, как снежная крупа, снежные зерна, ледяная крупа. Сюда относятся и метели с выпадающим снегом, а также сильные метели (вьюги) без выпадающего снега, когда снег поднимается с поверхности на большую высоту. Не учитываются низовые метели и поземки, поскольку они обычно не увеличивают потерь на корону по сравнению с их значением в хорошую погоду. Сводные данные по продолжительности снега за месяц так же, как и жидких осадков, могут быть получены из метеорологических ежемесячников (часть 2).

Изморозь и гололед. Сюда же следует относить замерзший снег и мокрый замерзший снег. Изморозь подразделяется на зернистую и кристаллическую. Данные по продолжительности изморози и гололеда могут быть, получены из таблиц ТМ-5.

Эти данные печатаются также в метеорологических ежемесячниках (часть 2).

Роса. Сводные данные за месяц о продолжительности росы могут быть получены из таблицы ТМ-1 и метеорологических ежемесячников (часть 2).

Иней. Сводных данных о продолжительности инея не имеется. Продолжительность этого атмосферного явления может быть вычислена путем выборки из ежедневных наблюдении по таблицам

Туман. Сводные данные за месяц о продолжительности тумана без разделения по интенсивности могут быть получены по таблице ТМ-1 к метеорологическим ежемесячникам (часть 2). Продолжительность тумана при дифференциации по интенсивности (сильный, умеренный, слабый) может быть вычислена только путем выборки из ежедневных наблюдений по таблицам ТМ-1.

Погода с относительной влажностью воздуха больше 90 % (при отсутствии перечисленных выше атмосферных явлений).

Продолжительность такой погоды может быть вычислена по таблицам ТМ-1 путем сопоставлений по времени, для исключения из этой погоды продолжительности сопутствующих осадков и тумана, если они имели место. Для этой цели могут также использоваться ежечасные синоптические наблюдения.

## Выбор числа лет наблюдений.

Систематические круглосуточные наблюдения над продолжительностью атмосферных явлении в СССР проводятся с 1936 г. Наблюдения над продолжительностью кристаллической и зернистой изморози начали проводиться с 1951 г.

Для определения средней годовой продолжительности дождя, снега, росы, инея, тумана, погоды с повышенной влажностью достаточно провести обработку материалов наблюдений за 5 лет. Полученная в этом случае величина средней готовой продолжительности будет отличаться от результатов расчета подобной характеристики за десятилетний период в среднем на 5-10%.

Для расчета среднегодовой интенсивности дождя среднее годовое количество осадков должно браться за тот же период, что и продолжительность осадков.

Данные по изморози должны обрабатываться за 10 лет.

## Выбор метеорологических станций на трассе ВЛ

Для расчета продолжительности атмосферных явлений могут использоваться материалы наблюдений на станциях первого и второго разрядов.

Результаты наблюдений метеорологических станций имеются в управлениях гидрометслужбы области или республики, а также в Главной геофизической обсерватории имени А.И.Воейкова, откуда они могут быть через Бюро расчета и справок получены заинтересованными организациями по требуемой форме.

Выбором станций по трассе проектируемой ВЛ должно обеспечиваться получение метеорологических данных, наиболее полно отражающих типичную картину распределения продолжительности метеорологических явлений и количества осадков на всей ее протяженности.

Для определения средних годовых значений количества осадков и юс продолжительности желательно брать станции приблизительно через 100-150 км. Рекомендации по выбору метеостанций в горных районах см. в пп. 63, 66, 67. Для определения продолжительности изморози и гололеда должны использоваться данные всех метеорологических станций, находящихся в районе трассы, поскольку в распределении изморози и гололеда наблюдается значительное разнообразие.

## Приложение 4

# ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ В ОТДЕЛЬНЫХ ПУНКТАХ СССР

Таблица 6

Продолжительность различных групп погоды для некоторых равнинных пунктов СССР (средняя за 5 лет)

| Пункт | Высота над уровнем моря, м | Продолжительность (в часах за год) | | | | | | | Среднегодовая относительная плотность воздуха % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | дождя и мороси | мокрого снега | снега, снежных зерен, снежной и ледяной крупы, вьюги | кристаллической изморози | зернистой изморози | гололеда | хорошей погоды | |
| Ачинск (Красноярской край) | 219 | 336 | 261 | 1071 | 477 | 0 | 1 | 6614 | - |
| Акташ (Татарская АССР) | - | 371 | 117 | 549 | - | - | 20 | - | 1,05 |
| Арчеда (Волгоградская обл.) | - | 424 | 20 | 437 | 82 | 9 | 144 | 7644 | 1,03 |
| Арзамас (Горьковская обл.) | 158 | 631 | 42 | 759 | 174 | 1 | 106 | 7047 | 1,04 |
| Баку..... | - | 488 | 35 | 125 | 0 | 0 | 5 | 8107 | - |
| Борисоглебск (Воронежская обл.) | 115,5 | 468 | 46 | 608 | 84 | 51 | 164 | 7339 | 1,06 |

Продолжение таблицы 6

| Пункт | Высота над уровнем моря, м | Продолжительность (в часах за год) | | | | | | | Среднегодовая относительная плотность воздуха % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | дождя и мороси | мокрого снега | снега, снежных зерен, снежной и ледяной крупы, вьюги | кристаллической изморози | зернистой изморози | гололеда | хорошей погоды | |
| Братск ..... | 326 | 333 | 24 | 1271 | - | - | - | - | 1,07 |
| Бугульма (Татарская АССР) | 326 | 442 | 18 | 1159 | 269 | 121 | 254 | 6497 | 1,04 |
| Владимир (Владимирская обл.)..... | 101 | 533 | 62 | 836 | 240 | 50 | 29 | 7010 | 1,04 |
| Волгоград . . . | - | 348 | 3 | 125 | 128 | 73 | 95 | 7988 | 1,04 |
| Боткинск (Удмуртская АССР) | - | 408 | 32 | 771 | 156 | 60 | 50 | 7283 | 1,05 |
| Горький | 162 | 538 | 56 | 777 | 320 | 86 | 130 | 6853 | 1,04 |
| Грязи (Липецкая обл.) | - | 392 | 36 | 557 | 184 | 35 | 60 | 7496 | 1,06 |
| Заметчино (Пензенская обл.) | 133 | 550 | 50 | 585 | 75 | 38 | 169 | 7293 | 1,06 |
| Златоуст (Челябинская обл.) | 456 | 444 | 102 | 1336 | 10 | 17 | 26 | 6825 | 1,06 |
| Иркутск | 468 | 360 | 29 | 730 | - | - | - | - | 1,03 |
| Кострома | 138 | 731 | 112 | 1164 | 500 | 6 | 226 | 6021 | 1,05 |
| Красноуфимск (Свердловская обл.) | 231 | 480 | 91 | 1293 | 462 | 0 | 50 | 6384 | 1,04 |
| Красноярск .... | 274 | 294 | 15 | 1163 | 320 | 2 | 2 | 6964 | 1,06 |
| Кривой Рог .... | 96 | 647 | 9 | 307 | 30 | 54 | 93 | 7620 | 1,02 |
| Корпачево (Челябинская обл.) | 402 | 416 | 74 | 1102 | 245 | 0 | 26 | 6897 | 1,06 |
| Куйбышев | 58 | 315 | 21 | 521 | 544 | 16 | 132 | 7211 | 1,06 |
| Колмна ..... | 111 | 420 | 60 | 608 | 132 | 0 | 73 | 7467 | 1,04 |
| Кунгур (Пермская обл.) | 135 | 506 | 40 | 1144 | 205 | 0 | 66 | 6799 | 1,05 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Кустанай (Целинный) | 167 | 282 | 12 | 688 | 256 | 0 | 26 | 7496 | 1,06 |
| Лев Толстой (Рязанская обл.) | - | 431 | 70 | 876 | 194 | 94 | 70 | 7025 | 1,04 |
| Ленинград | 5 | 708 | 97 | 742 | 251 | 17 | 149 | 6796 | 1,05 |
| Ворошиловград | 138 | 544 | 2 | 464 | 24 | 15 | 51 | 7660 | 1,03 |
| Москва | 125 | 564 | 80 | 790 | 262 | 0 | 29 | 7035 | 1,04 |
| Муром (Владимирская обл.) | 115 | 573 | 61 | 774 | 268 | 2 | 85 | 6997 | 1,04 |
| Нижний Тагил (Свердловская обл.) ... | 258 | 511 | 53 | 1427 | 89 | 0 | 23 | 6657 | 1,04 |
| Нерехта (Костромская обл.) | - | 610 | 64 | 705 | 153 | 7 | 140 | 7081 | 1,05 |
| Новосибирск .... | 132 | 346 | 47 | 1282 | 240 | 165 | 11 | 6669 | 1,06 |
| Нижне-Удинск (Иркутская обл.) | 415 | 430 | 22 | 980 | - | - | - | - | - |
| Омск | 121 | 253 | 45 | 460 | 541 | 27 | 120 | 7314 | 1,07 |

Окончание таблицы 6

| Пункт | Высота над уровнем моря, м | Продолжительность (в часах за год) | | | | | | | Среднегодовая относительная плотность воздуха ρ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | дождя и мороси | мокрого снега | снега, снежных зерен, снежной и ледяной крупы, вьюги | кристаллической изморози | зернистой изморози | гололеда | хорошей погоды | |
| Орск (Оренбургская обл.) | 205 | 265 | 30 | 566 | 190 | 10 | 56 | 7643 | - |
| Павлово-Посад (Московская обл.) .... | 139 | 520 | 46 | 719 | 198 | 0 | 30 | 7247 | 1,04 |
| Пенза | 143 | 499 | 51 | 887 | 369 | 34 | 52 | 6868 | 1,06 |
| Пермь | 143 | 479 | 87 | 1340 | 370 | 0 | 246 | 6238 | 1,05 |
| Порецкое (Ульяновская | - | 553 | 41 | 832 | 174 | 81 | 24 | 7055 | 1,05 |
| Петропавловск (Целинный) | 137 | 327 | 23 | 594 | 220 | 3 | 21 | 7572 | 1,06 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Рузаевка (Мордовская АССР) | 220 | 305 | 31 | 755 | 70 | 3 | 5 | 7591 | 1,06 |
| Рыбинск (Ярославская | 98 | 769 | 112 | 1016 | 246 | 2 | 100 | 6515 | 1,05 |
| Рязань | 134 | 497 | 61 | 472 | 216 | 72 | 72 | 7370 | 1,04 |
| Саранск (Мордовская АССР) . | 203 | 483 | 37 | 776 | 109 | 44 | 13 | 7298 | 1,05 |
| Саратов..... | 66 | 285 | 31 | 457 | 296 | 105 | 251 | 7335 | 1,04 |
| Сасово (Рязанская обл.) | 103 | 533 | 70 | 723 | 185 | 1 | 145 | 7103 | 1,04 |
| Свердловск. . . . . | 237 | 363 | 44 | 884 | 538 | 11 | 53 | 6867 | 1,04 |
| Серпухов ..... | 131 | 506 | 85 | 584 | 160 | 30 | 8 | 7387 | 1,04 |
| Томск ..... | 139 | 285 | 198 | 1537 | 445 | 5 | 24 | 6266 | 1,06 |
| Троицк (Челябинская обл.) | 179 | 290 | 22 | 582 | 167 | 5 | 14 | 7680 | 1,06 |
| Туймасы (Башкирская АССР) | 113 | 250 | 13 | 417 | 115 | 0 | 4 | 7961 | 1,04 |
| Углич (Ярославская обл.) | 123 | 616 | 705 | 892 | 188 | 0 | 100 | 6859 | 1,05 |
| Углу-теляк (Башкирская АССР) | 131 | 378 | 56 | 883 | - | - | 55 | - | 1,04 |
| Уфа | 197 | 383 | 20 | 992 | 10 | 39 | 57 | 7259 | 1,04 |
| Уфалей (Челябинская обл.) | 382 | 430 | 80 | 919 | - | - | 47 | - | 1,04 |
| Чебоксары ..... | 181 | 584 | 35 | 711 | 300 | 1 | 350 | 697 | 1,05 |
| Челно-Вершины (Куйбышевская обл.). . . . | 152 | 356 | 23 | 638 | 34 | 44 | [illegible] | 748 | 1,05 |
| Челябинск ..... | 231 | 334 | 27 | 574 | 177 | | 32 | 7614 | 1,04 |

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных.

Таблица 7

Продолжительность различных групп погоды для отдельных горных пунктов СССР (средняя за 5 лет )

| Название метеостанции | Высота над уровнем моря, м | Продолжительность (в часах за год) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | дождя | мокрого снега | сухого снега | тумана | инея | изморози | гололеда | хорошей погоды |
| Армянская ССР | | | | | | | | | |
| Узунтала | 500 | 252 | 25 | 154 | 108 | 136 | 34 | 46 | 8005 |
| Кафан | 705 | 513 | 20 | 231 | 25 | 457 | - | - | 7514 |
| Ереван АМСГ. . . | 909 | 272 | 40 | 175 | 103 | 738 | 40 | 9 | 7383 |
| Микоян | 1267 | 223 | - | 81 | 203 | 235 | 52 | - | 7966 |
| Сисиан АМСГ. . . | 1614 | 215 | - | 105 | 49 | 772 | 40 | - | 7579 |
| Ахта | 1765 | 281 | - | 185 | 176 | 96 | 168 | - | 7854 |
| Мартуни | 1943 | 252 | - | 170 | 14 | 76 | 10 | - | 8238 |
| Базарчай | 2014 | 197 | - | 247 | 85 | 372 | 32 | - | 7727 |
| Джермук | 2068 | 175 | 37 | 42 | 37 | 87 | 8 | - | 8374 |
| Яных | 2331 | 203 | - | 245 | 162 | 180 | 12 | - | 7958 |
| Арагап высокогорный | 3228 | 68 | 23 | 1050 | 1362 | 403 | 555 | 48 | 5351 |
| Алагир (Северный Кавказ) | 638 | 304 | 16 | 121 | 345 | 108 | 301 | 63 | 7502 |
| Агро Душанбе (Таджикская АССР) | 806 | 589 | 33 | 190 | 31 | 425 | 20 | 31 | 7441 |
| Тианети (Грузинская ССР) | 1100 | 360 | 30 | 431 | 164 | 159 | 76 | - | 7540 |
| Нарын (Киргизская ССР) | 2048 | 289 | 25 | 448 | 59 | 603 | 61 | - | 7275 |
| Ассы (Казахская ССР) | 2201 | 331 | 13 | 500 | 97 | 1447 | 50 | - | 6322 |
| Кара-Тюрек (Западная Сибирь) | 2770 | 122 | 40 | 703 | 108 | 90 | 350 | 50 | 7297 |
| [illegible] (Казахская ССР) | 3000 | 188 | 19 | 906 | 620 | 381 | 212 | 37 | 6397 |
| Чатырь-Куль (Киргизская ССР) | 3508 | 92 | 40 | 520 | 34 | 1153 | 292 | - | 6624 |
| Тянь-Шань (Киргизская ССР) | 3678 | 55 | 167 | 804 | 150 | 807 | 104 | - | 6675 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Булун-Куль (Таджикская ССР) | 3780 | 48 | 10 | 371 | 20 | 627 | 42 | - | 7642 |
| Кара-Куль (Таджикская ССР) | 3932 | 28 | 30 | 225 | 70 | 272 | 35 | - | 8100 |

Таблица 8

Среднегодовая интенсивность дождя в различных пунктах СССР

| Пункт | $\bar{I}$ мм/ч | Пункт | $\bar{I}$ мм/ч |
|---|---|---|---|
| Европейская территория СССР | | | |
| Хибины | 0,32 | Брянск .... | 0,82 |
| Нарьян-Мар . . . | 0,30 | Куйбышев . . . | 0,80 |
| Архангельск . . | 0,49 | Тамбов .... | 0,78 |
| Сыктывкар .... | 0,46 | Оренбург . . . | 0,70 |
| Котлас . . . . | 0,59 | Курск . . . . | 0,01 |
| Ленинград . . . | 0,76 | Чернигов . . . | 1,04 |
| Таллин | 0,82 | Львов .... | 0,83 |
| Киров | 0,63 | Волгоград . . . | 0,87 |
| Пермь | 0,58 | Каменец-Подольский | 1,12 |
| Псков | 0,74 | Ужгород . . . . | 1,14 |
| Рига | 0,78 | Днепропетровск. . | 1,04 |
| Свердловск . . . | 0,62 | | 0,96 |
| Вильнюс . . . . | 1,01 | Лошкаревка . . . | 1,13 |
| Калининград . . | 0,96 | Кривой Рог . . . | 0,99 |
| Москва ..... | 0,93 | Ростов-на-Дону | 1,36 |
| Ржев ..... | 0,71 | | 1,39 |
| Златоуст .... | 0,62 | | 1,2 |
| Витебск .... | 0,81 | Астрахань .... | 0,804 |
| Бугульма .... | 0,66 | Симферополь . . . | 1,37 |
| Минск ..... | 1,00 | | 1,16 |
| Кавказ | | | |
| Красная поляна | 1,76 | Закаталы . . . | 1,57 |
| Сочи | 2,15 | Нуха .... | 1,2 |
| Адлер ..... | 1,82 | Ленинакан . . | 1,37 |
| Гагра ..... | 1,69 | Маштаги . . . | 0,69 |
| Орджоникидзе | 1,15 | Лерик .... | 0,71 |
| Тбилиси | 0,95 | Ленкорань . . | 1,27 |
| Батуми .... | 2,1 | | |

Продолжение таблицы 8

| Пункт | $\bar{I}$ мм/ч | Пункт | $\bar{I}$ мм/ч |
|---|---|---|---|
| Средняя Азия и Казахстан | | | |
| Кокчетав . . . | 0,68 | Нарыкол . . . . | 0,84 |
| Павлодар . . . | 0,75 | Нукус | 0,42 |
| Целиноград . . | 0,66 | Б.Кызыл-Су . . . | 0,99 |
| Караганда . . | 0,64 | Нарын | 0,80 |
| Калмыково . . . | 0,75 | Ташкент .... | 1,04 |
| Кокпекты . . . | 0,93 | Андижан .... | 0,74 |
| Балхаш . ... | 0,73 | Ош | 0,86 |
| Аральское море | 0,78 | Фергана . . . | 0,60 |
| Сарканд .... | 1,00 | Ленинабад . . | 0,79 |
| Уш-Тобе .... | 1,02 | Красноводск | 0,64 |
| Чиганак .... | 0,91 | Душанбе .... | 1,38 |
| Алма-Ата . . . | 1,16 | Хорог ..... | 0,70 |
| Фрунзе .... | 0,91 | Термез . . . . | 0,84 |
| Западная Сибирь | | | |
| Салехард .... | 0,42 | Омск | 0,81 |
| Александровское | 0,70 | Барнаул .... | 0,82 |
| Тюмень ..... | 0,65 | Таштып .... | 0,77 |
| Томск | 0,70 | Чемал .... | 1,0 |
| Новосибирск . . . | 0,72 | Усть-Улаган . . | 0,67 |
| Восточная Сибирь | | | |
| Красноармейский прииск .... | 0,17 | Средняя Нюкжа | 0,85 |
| Ессей ..... | 0,23 | Сковородино . . . | 0,95 |
| Илирей .... | 0,18 | Могоча .... | 0,98 |
| Туруханск . . . | 0,38 | Зима .... | 0,69 |
| Ербогачен . . . | 0,40 | Минусинск . . | 0,82 |
| Алдан ..... | 0,46 | Баргузин . . . | 0,61 |
| Чара ..... | 0,65 | Ермаковское | 0,77 |
| Братск .... | 0,59 | Тора-Хем . . . | 0,71 |
| Красноярск . . | 0,62 | Чита | 0,98 |

Окончание таблицы 8

| Пункт | $\bar{I}$ мм/ч | Пункт | $\bar{I}$ мм/ч |
|---|---|---|---|
| Нижне-Ангарск | 0,61 | Улан-Удэ | 0,74 |
| Средняя Олекма | 0,89 | Нерчинский завод | 1,38 |
| Дальний Восток | | | |
| Гижига | 0,25 | Софийский прииск | 0,85 |
| Пестрая дресва | 0,38 | Лопатка, мыс . . | 0,46 |
| Апука .... | 0,36 | Александровск-Сахалинский . | 0,65 |
| Магадан . . . | 0,47 | Благовещенск . . | 1,18 |
| Охотск . . . | 0,42 | Сихотэ-Алинь. . . | 0,77 |
| Карагинский остров . . | 0,32 | Биробиджан . . . | 0,17 |
| Усть-Хайрюзово | 0,36 | Южно-Сахалинск | 0,73 |
| Аян | 0,83 | Бикин | 1,1 |
| Усть-Камчатск | 0,35 | Улунга .... | 1. |
| Козыревск . . .. | 0,45 | Курильск . . . | 0,78 |
| Пикан | 1,27 | Сантахеза . . . | 1,24 |
| Николаевск-на-Амуре | 0,52 | Уссурийск . . . | 1,23 |
| Петропавловск-Камчатский | 0,67 | Владивосток . . . | 0,94 |
| Усть-Большерецк | 0,42 | | |

## Приложение 5

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОВПАДЕНИЯ МАКСИМУМА НАГРУЗКИ И ПОВЫШЕННЫХ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ

Пусть в соответствии с графиком нагрузки наибольшая мощность передается по линии в часы суток от $T_1$ до $T_2$ $(1 \le T \le 24ч)$ и в периоды от $в_1$ до $в_2$ дней года (за день, за месяц, за сезон и т.п.) Проанализируем соответствующее распределение потерь на корону за выделенный интервал времени.

Расчету подлежит коэффициент $\alpha$ и его интегральное распределение $\alpha = f(T)$. Коэффициент $\alpha$ определяется по формуле

$$\alpha = P'/\bar{P}, \qquad (77)$$

где $P'$ - мощность потерь на корону в момент передачи по линии наибольшей нагрузки, кВт/км (Вт/м);

$\bar{P}$ - среднегодовая мощность потерь от короны, кВт/км (Вт/м).

Значения $P'$ и $\bar{P}$ могут быть рассчитаны по обобщенным характеристикам,

приведенным на рис. 8

Для исключения зависимости $P'/\bar{P}$ от $E_э/E_0$ ниже использована приближенная аппроксимация кривых рис. 8 прямыми в полулогарифмическом масштабе.

В результате обобщенные потери на корону при $i$-й группе погоды записываются

$$\theta_i = F_i e^{8{,}05(E_э/E_0 - 0{,}55)}, \qquad (78)$$

где коэффициенты $F_i$ равны соответственно:

$$F_{х.п} = 0{,}028; F_{с.с} = 0{,}088; F_д = 0{,}256; F_{из} = 0{,}773$$

При этом среднегодовая обобщенная мощность потерь на корону равна

$$\bar{\theta} = e^{8{,}05(E_э/E_0 - 0{,}55)} \sum_{i=1}^{4} F_i \psi_i, \qquad (79)$$

где $\psi_i$ - вероятность $i$-й группы погоды за год.

Отсюда

$$\frac{P'}{\bar{P}} = \frac{\theta_i}{\bar{\theta}} = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^{4} F_i \psi_i}. \qquad (80)$$

Принимая за $P'$ среднее значение потерь в течение Т-го часового интервала времени и учитывая, что в течение часа может иметь место любая из четырех групп погоды, коэффициент $F_i$ в числителе формулы (80) следует заменить коэффициентов $F_T$, который может быть вычислен по формуле

$$F_T = \frac{1}{в_2 - в_1} \sum_{в_1}^{в_2} F_{тв}, \qquad (81)$$

где $F_{тв}$ - коэффициент, аналогичный коэффициенту $F_i$ длят $T$-го часового интервала $в-х$ суток;

$$F_{тв} = F_{х.п}\varphi_{х.п} + F_{с.с}\varphi_{с.с} + F_д\varphi_д + F_{из}\varphi_{из} = \sum_{i=1}^{4} F_i \varphi_i; \qquad (82)$$

$\varphi_i$-относительная продолжительность $i$-й группы погоды в точение данного часа, $\sum \varphi_i = 1$

Определяя отношение

$$\frac{P'}{\bar{P}} = \frac{F_T}{\sum_{i=1}^{4} F_i \psi_i} \qquad (83)$$

для каждого часового интервала внутри рассматриваемого времени суток и сопоставляя полученную зависимость с графиком нагрузки (в долях от наибольшей передаваемой мощности), можно найти значение коэффициента $\alpha$, которое следует учитывать при проектировании ВЛ.

Для расчета отношения $P'/\bar{P}$ необходимо знать вероятности различных групп погоды $\psi_i$ а $\varphi_i$. Для этого от метеостанций, расположенных вблизи трассы линии, надо получить следующие данные;

а) среднегодовые продолжительности за 5 лет для всех групп погоды, определяющие вероятность $\psi_i$ (по классификации, указанной в п.4);

б) почасовое распределение атмосферных явлений, соответствующих различным группам погоды внутри нужной части суток за заданный" период года, т.е. вероятности $\varphi_i$

В качестве примера были рассмотрены суточные зависимости $P_{пер} / P_{пер\ макс}$ и $P' / \overline{P}$ для Ленинграда за один год*. В данном примере сумма $\sum_{i=1}^{4} F_i \psi_i$ вычислялась по формуле

$$\sum_{i=1}^{4} F_i \psi_i = \frac{1}{8760} \cdot \sum_{T=1}^{24} \sum_{\delta=1}^{365} F_{T\delta} . \qquad (84)$$

Коэффициент $\alpha$ для годового периода оказался близким к 1.

## Приложение 6

## ПРИМЕР РАСЧЕТА СТОИМОСТИ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРИ ВЫБОРЕ ПРОВОДОВ ВЛ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ

В качестве примера сопоставляется несколько вариантов проводов для ВЛ Конаково-Ленинград ОЭС Северо-Запада с номинальным напряжением $U_н$ =750 кВ и мощностью $P_{расч}$ = 1800 МВт.

Экономическая плотность тока[1] для ОЭС Северо-Запада при продолжительности использования максимальной нагрузки линии $T_{макс}$ = 5700 составляет $j_{эк}$ = 1 А/мм$^2$. Расчетный ток в фазе линий

$$I^{пр}_{расч} = \frac{P_{расч}}{\sqrt{3}\, U_н} = 1387 \text{ А}.$$

Сечение фазы линии определится как

$$s \geq \frac{I^{пр}_{расч}}{j_э} \simeq 1400 \text{ мм}^2 \ (10^{-6} \text{ м}^2)$$

Для сопоставления берутся провода типа АСО и АСУ, у которых коэффициент заполнения сечения провода алюминием $k_з$ соответственно равен 0,67 и 0,61.

По формулам (48) и (49) имеем: число проводов в фазе должно быть не более

---

* $P_{пер}$ и $P_{пер\ макс}$ - соответственно передаваемая и максимальная передаваемая по линии мощность.

[1] Табл. 4.10 "Справочника по проектированию линий электропередачи". Под ред. М.А. Реута и С.С. Рокотяна, "Энергия", М., 1971.

5, а радиус составляющих проводов $r_0 \geq (1{,}03 \div 1{,}18)$ см. Выбранные для сопоставления провода с $r_0 \geq 1{,}1$ см и их характеристики приводятся в табл. 9.

Расчетные параметры ВЛ: эквивалентная высота провода над землей $h = 14$ м, расстояние между фазами $D = 19{,}5$ м. Шаг расщепления проводов фазы $a = 30$ см был выбран близким к оптимальному по условиям короны, т.е. обеспечивающему минимум напряженности поля на поверхности провода.

Для проверки выполнения требований по уровню радиопомех согласно приведенной выше методике была вычислена максимальная напряженность электрического поля на поверхности проводов. Допускаемая по уровню радиопомех максимальная напряженность на поверхности проводов ВЛ вычислялась по формуле(20). Как видно из табл. 9, все провода являются приемлемыми с точки зрения радиопомех.

После проверки выполнения критериев п.72 рассчитаем стоимость потерь энергии на нагрев и корону. Мощность потерь на нагрев проводов током нагрузки линии определялась по формуле (55) при $\rho = 30{,}5$ Ом•мм2/км.

Пример расчета среднегодовой мощности потерь на корону для ВЛ Конаково-Ленинград приведен в приложении 7. Коэффициент $\alpha$ принят равным 1. Рассчитанное по Формуле (52) при $T_{макс} = 5700$ ч годовое число часов максимальных потерь $\tau = 4200$ ч.

Удельные затраты на возмещение потерь энергии на нагрев $З'_э$ и корону $З''_э$ для ОЭС Северо-Запада, *согласно формулам (50), (51) и табл.5, получаются соответственно* равными 1,4 коп/(кВт•ч) и 1,0 коп/(кВт•ч). Стоимость потерь энергии на нагрев проводов и на корону для каждого провода на 1 км длины линии определяются из выражений (53) и (54):

$$З_н = 1{,}4 \cdot 4200 \cdot \rho_н \cdot 10^{-5} \text{ тыс.руб/км;}$$

$$З_к = 1{,}0 \cdot 8760 \cdot \bar{P} \cdot 10^{-5} \text{ тыс.руб/км.}$$

Все расчетные величины для рассматриваемых вариантов проводов даны в табл. 9.

Таблица 9

Исходные и расчетные данные для определения стоимости потерь энергии

| Показатель | | Значения расчетных величин для провода марок | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | АСУ-240 | АСО-300 | АС-300 | АСО-400 | АСУ-400 |
| Радиус провода $r_0$, см | | 1,12 | 0,175 | 1,26 | 1,36 | 1,45 |
| Сечение алюминиевой части провода $q_a$, мм$^2$ ($10^{-6}$ м$^2$). | | 1205 | 1455 | 1485 | 1960 | 2000 |
| Расчетная плотность тока $j_{расч}$, А/мм$^2$ ($10^6$ А/м$^2$) | | 1,16 | 0,954 | 0,834 | 0,738 | 0,694 |
| Число составляющих проводов, $n$ | | 5 | 0 | 5 | 5 | 5 |
| Максимальная напряженность на поверхности проводов средней фазы $E_M$, кВ/см ($10^5$ В/м) | | 29,2 | 28,0 | 26,5 | 25, 2 | 23,7 |
| Допускаемая по уровню радиопомех напряженность электрического поля $E_{доп}$, кВ/см ($10^5$ В/м) | | 31,4 | 31,0 | 30,5 | 29,9 | 29,4 |
| Эквивалентная напряженность на поверхности проводов, кВ/см ($10^5$ В/м) | крайней фазы $E_{э1}$ | 26,0 | 24,9 | 23,3 | 21,8 | 20,4 |
| | средней фазы $E_{э2}$ | 27,0 | 25,8 | 24,3 | 23,0 | 21,4 |
| Начальная напряженность короны $E_0$ при $\delta = 1,0$, кВ/см ($10^5$ В/м) | | 31,9 | 31,6 | 31,2 | 31,0 | 30,7 |
| Мощность потерь на нагрев проводов $P_H$, кВт/мм (Вт/м) | | 148 | 121 | 118,5 | 90 | 88,2 |
| Среднегодовая мощность потерь на корону $\overline{P}$, кВт/мм (Вт/м) | | 16,0 | 15,0 | 13,0 | 11,2 | 9,1 |
| Стоимость потерь энергии на нагрев проводов, тыс. руб/мм | | 8,7 | 7,1 | 7,0 | 5,3 | 5,2 |
| Стоимость потерь энергии на корону, тыс. руб/мм. | | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1.0 | 0,8 |

## Приложение 7

# ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА СРЕДНЕГОДОВОЙ МОЩНОСТИ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ

### Расчет среднегодовой мощности потерь на корону для ВЛ переменного тока

Необходимо определить среднегодовую мощность потерь на корону для линии Конаково-Ленинград с проводами 5 х АСУ-240/30 при напряжении линии $U = 750$ кВ. Линия имеет горизонтальное расположение фаз и два заземленных троса. Исходные данные для расчета: расстояние между фазами $D = 19{,}5$ м; эквивалентная высота проводов над землей $h = 14$ м; радиус провода $r_0$=1,12см, шаг расщепления $d$=30 см, среднеквадратичная и максимальная плотность тока в проводах $\bar{j} = 0{,}8$ А/мм и $j_{макс} = 1{,}16$ А/мм$^2$.

Вычисляем напряженности $E_1$, $E_2$ и $E_3$ на поверхности провода при рабочем напряжении. В соответствии с формулой (60)

$$r_p = \frac{a}{2\sin\frac{\pi}{n}} = \frac{30}{2\sin\frac{\pi}{5}} = 25{,}5 \text{ см } (10^{-2} \text{ м});$$

$$r_э = \left(n r_0 r_p^{n-1}\right)^{1/n} = 18{,}8 \text{ см } (10^{-2} \text{ м}).$$

Вычислим емкости средней и крайних фаз по формулам (65)-(68)

$$\Delta_0 = \frac{1}{\ell n \frac{\sqrt[3]{2}\,D}{r_э}} = 0{,}2055;$$

При $\frac{h}{D} = 0{,}717$ $\Delta_2$ и $\bar{\Delta}$ похожим по рис. 20 и

$$C_2 = 2\pi\varepsilon_0\Delta_2 = 12{,}6 \text{ пФ/м } (10^{-12} \text{ Ф/м});$$

$$\bar{C} = 2\pi\varepsilon_0\bar{\Delta} = 12{,}3 \text{ пФ/м } (10^{-12} \text{ Ф/м});$$

$$C_1 = 0{,}5\left(3\bar{C} - C_2\right) = 12{,}1 \text{ пФ/м } (10^{-12} \text{ Ф/м}).$$

Значения эквивалентной напряженности поля находив по формулам (5, 7 и 9):

$$E_1 = 0{,}0147\frac{C_1 U}{n r_0} = 23{,}88 \text{ кВ/см } (10^5 \text{ В/м});$$

$$E_2 = 0{,}0147\frac{C_2 U}{n r_0} = 24{,}87 \text{ кВ/см } (10^5 \text{ В/м});$$

$$K_н = 1 + \beta\frac{r_0}{a} = 1{,}175;$$

$$E_{э1} = \frac{1+K_н}{2}E_1 = 26{,}0 \text{ кВ/см } (10^5 \text{ В/м});$$

$$E_{э2} = \frac{1+K_н}{2}E_2 = 27{,}0 \text{ кВ/см } (10^5 \text{ В/м}).$$

Вычисляем среднегодовые потери на корону.

**По данным шести метеостанций** (Клин, Калинин, Вышний Волочок, Окуловка, Любань, Ленинград), расположенных вблизи трассы линии Конаково-Ленинград, определяем среднегодовую относительную плотность воздуха $\overline{\delta} = 0{,}049$ и продолжительность метеорологических явлений по группам погоды (табл. 10): дождя (включая мокрый снег) $\overline{T}_д = 720$ ч, сухого снега $\overline{T}_{сс} = 1061$ ч, изморози и гололеда $\overline{T}_{из} = 481$ ч.

$$\overline{T}_д + \overline{T}_{сс} + \overline{T}_{из} = 720 + 1061 + 481 = 2262 \text{ ч};$$

$$\overline{T}_{х.п} = 8760 - (\overline{T}_д + \overline{T}_{сс} + \overline{T}_{из}) = 6498 \text{ ч}.$$

Таблица 10

| Погода | $\overline{T}_i$ | Значения коэффициента $\psi$, при | |
|---|---|---|---|
| | | упрощенном методе расчета | расчетах с уточнением по нагреву |
| Хорошая .... | 6498 | 0,741 | 0,643 |
| Сухой снег . . . | 1061 | 0,121 | 0,250 |
| Дождь | 602 | 0,083 | 0,063 |
| Мокрый снег . . . | 118 | 0,083 | 0,014 |
| Зернистая изморозь и гололед . . | 131 | 0,055 | 0,015 |
| Кристаллическая изморозь | 350 | 0,055 | 0,015 |

В соответствии с данными табл. 2 принимаем $E_0 = 31{,}9$ кВ/см. Для хорошей погоды по формуле (10) при $\delta = 1{,}049$ получаем

$$E_0 = 0{,}82 \cdot 24{,}5 \cdot \delta \left(1 + \frac{0{,}613}{(r_0\delta)^{0{,}4}}\right) = 33{,}19 \text{ кВ/см } (10^5 \frac{В}{м})$$

По значениям $\frac{E_{э1}}{E_0} = 0{,}815$, $\frac{E_{э2}}{E_0} = 0{,}849$ для плохих погод и $\frac{E_{э1}}{E_0} = 0{,}783$, $\frac{E_{э2}}{E_0} = 0{,}816$ для хорошей погоды из номограммы приложения 8 находим значения обобщенных характеристик короны:

$\theta_{х.п1} = 0{,}186$; $\theta_{х.п2} = 0{,}248$;

- для дождя

$\theta_{д_1} = 2{,}51$; $\theta_{д_2} = 3{,}10$;

- для сухого снега

$\theta_{с.с_1} = 0{,}77$; $\theta_{с.с_2} = 1{,}06$;

- для изморози

$\theta_{из_1} = 6{,}75$; $\theta_{из_2} = 8{,}10$.

Среднегодовая интенсивность дождя, взятая для этой линии электропередачи по Ленинграду (см. табл. 8) отлична от 1 мм/ч и равна $\bar{I} = 0{,}76$ мм/ч (0,0127 мм/мин). Значение обобщенных потерь при этой интенсивности дождя с учетом поправочного Коэффициента $\varkappa = 0{,}88$ (см. рис. 9) определится как

$$\theta'_{д_1} = \varkappa\, \theta_{д_1} = 2{,}21 \quad \text{(для крайней фазы)},$$

$$\theta'_{д_2} = \varkappa\, \theta_{д_2} = 2{,}73 \quad \text{(для средней фазы)}$$

Используя формулу (27) и определяя потери мощности на колону по упрощенному методу, получаем

$$\bar{P} = 5 \cdot 1{,}12^2 [(2 \cdot 0{,}186 + 0{,}248) \cdot 0{,}741 + (2 \cdot 0{,}77 + 1{,}06) \cdot 0{,}121 +$$

$$+ (2 \cdot 2{,}21 + 2{,}73) \cdot 0{,}083 + (2 \cdot 6{,}75 + 8{,}1) \cdot 0{,}055] = 16 \text{ кВт/км } (\text{Вт/м})$$

Уточним влияние нагрева проводов током нагрузки на значение потерь на корону.

Найдем продолжительность дождя с учетом влияния нагрева на потери при дожде малой интенсивности. По рис. 10 при $j = \bar{j} = 0{,}8$ А/м находим критическую интенсивность дождя для провоза АСУ-240 $I_{кр} = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ мм/мин. Вероятность дождя за год с интенсивностью $I \le I_{кр} = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ мм/мин определяем по Формулам (28), (30):

$$z = \frac{I_{кр}}{\bar{I}} = 0{,}0395;$$

$$\Phi_z = \frac{z}{0{,}39 + 0{,}99z} = 0{,}092;$$

$$\psi_{д.кр} = \frac{\bar{T}_д}{8760} \Phi_z = \frac{602}{8760} \cdot 0{,}092 = 0{,}006.$$

Следовательно, продолжительность дождя с интенсивностью больше критической равна

$$\psi'_д = \frac{\bar{T}_д}{8760} - \psi_{д.кр} = 0{,}069 - 0{,}006 = 0{,}063.$$

Влияние нагрева на кристаллическую изморозь определяем при плотности тока, характерной для ночных часов работы линии. В соответствии с суточным графиком нагрузки рассматриваемой линии ток в дневные часы составляет около 80%, а в ночные часы -около *60%* максимального значения тока в течение суток. Принимая $j_{максут} \approx j_{макс}$, для нашего примера получаем $j_{днч} \approx 0{,}9$ А/мм$^2$ и $j_{ночн\ ч} \approx 0{,}7$ А/мм$^2$.

Но рис. 11 при $j = j_{ночн\ ч} = 0{,}7$ А/мм$^2$ для провода АСУ-240 определяем коэффициент $\gamma_1 = 0{,}38$, а затем и продолжительность кристаллической изморози:

$$\psi'_{кз.из} = \psi_{кр.из}\,\gamma_1 = 0{,}04 \cdot 0{,}38 = 0{,}015.$$

Коэффициент $\gamma_2$, учитывающий влияние нагрева на величину мощности потерь на корону при $j = 0{,}7$ А/мм$^2$, получается равным 0,81(см. рис. 12) и, следовательно, обобщенные потери при кристаллической изморози будут равны:

$$\theta'_{из1} = \theta_{из1}\gamma_2 = 6{,}75 \cdot 0{,}81 = 5{,}47 \text{ (для крайней фазы);}$$

$$\theta'_{из2} = \theta_{из2}\gamma_2 = 8{,}10 \cdot 0{,}81 = 6{,}56 \text{ (для средней фазы).}$$

Критическая плотность тока для инея и росы составляет $j_{кр} = 0{,}35 \div 0{,}5$ А/мм$^2$ (см. п. 48), Так как плотность тока в ночные часы $j = 0{,}7$ А/мм больше критической, иней и роса на поверхности провода образовываться не будут.

Проверим, следует ли учитывать увеличение потерь на колону при тумане и повышенной влажности воздуха (см. п. 49). Из рис. 10 видно, что при плотности тока $j = \bar{j} = 0{,}8$ А/мм$^2$ критическая интенсивность дождя $I_{кр} < 0{,}001$ мм/мин. Таким образом, туман и повышенная влажность воздуха будут увеличивать потери на линии до уровня потерь при сухом снеге и продолжительность этих групп погоды должна суммироваться с продолжительностью сухого снега.

$$\psi'_{с.с} = \psi_{с.с} + \psi_{тум} + \psi_{пов.вл} = 0{,}121 + 0{,}002 + 0{,}127 = 0{,}250.$$

Продолжительность тумана $\psi_{тум}$ и погоды с повышенной влажностью $\psi_{пов\ вл} = 0{,}127$, использованные в данном примере, взяты для Ленинграда за 1 год во данным Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова.

После учета влияния нагрева продолжительность хорошей погоды определится как

$$\psi'_{х.п} = \psi_{х.п} + \psi_{д.кр} + (1 - \gamma_1)\psi_{кр.из} - \psi_{тум} - \psi_{пов.вл} = 0{,}741 + 0{,}006 +$$

$$+ (1 - 0{,}38) \cdot 0{,}04 - 0{,}002 - 0{,}127 = 0{,}643.$$

С уточнением влияния нагрева на продолжительность отдельных групп погоды по Формуле (27) определяем среднегодовую мощность потерь на корону

$$\bar{P} = 5 \cdot I,I2^{2} \left[(2 \cdot 0,I86 + 0,248) \cdot 0,643 + (2 \cdot 0,77 + I,06) \times \right.$$
$$\left. \times 0,250 + (2 \cdot 2,2I + 2,73)\,(0,063 + 0,0I4) + (2 \cdot 5,47 + 6;56) \times \right.$$
$$\left. \times (0,0I5 + 0,0I5)\right] = I3,3 \text{ кВт/км (Вт/м)}.$$

## Расчет среднегодовой мощности потерь на корону для ВЛ постоянного тока

Необходимо определить среднегодовую мощность потерь на корону для биполярной линии постоянного тока Экибастуз-Центр с проводами 4 х АСО - 1000/40 при напряжении $U = 1500$ кВ.

Исходные данные: $I = 4000$ А; $r_0 = 2{,}055$ см; $D = 23$ м; $h_{мин} = 11{,}5$ м; $a = 40$ см; $\kappa_н = 1{,}218$.

По Формулам (50) и (69) приложения 1 определяем эквивалентный радиус провода $r_э$ и емкость линии $C$:

$$r_э = \left(n r_0 r_p^{n-1}\right)^{1/n} = 20{,}77 \text{ см};$$

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ell n \dfrac{D}{r_э \sqrt{1 + (D/2h_{мин})^2}}} = I2{,}75 \text{ пФ/м}.$$

Начальное напряжение короны $U_0$ вычисляется по формуле (37):

$$U_0 = \frac{2\pi\varepsilon_0 n r_0 E_0}{\kappa_н C} = 863{,}3 \text{ кВ}(I0^3 \text{ В}),$$

где $E_0 = 24{,}5 \cdot 0{,}82 \left(I + \dfrac{0{,}6I3}{2{,}055^{0{,}4}}\right) = 29{,}3$ кВ/см $(I0^5$ В/м)

[см. формулу(10)].

При $\dfrac{U_д}{U_0} = 0{,}869$ по рис. 14 находим обобщенные характеристики короны для следующих групп погоды:

- хорошая погода - $\vartheta_{х.п} = 10{,}8$;
- сухой снег - $\vartheta_{с.с} = 23{,}0$;
- дождь и изморозь - $\vartheta_{д.из} = 57{,}0$

Вероятность этих групп погоды $\psi_i$ вычислена по 5 метеостанциям (Кустанай, Петропавловск, Тропик, Челябинск, Орск), расположенным вблизи трассы линии Экибастуз-Центр:

$$\Psi_{х.п} = 0{,}867; \quad \Psi_{с.с} = 0{,}069; \quad \Psi_{д.из} = 0{,}064$$

Среднегодовая мощность потерь на корону для биполярной линии Б соответствии с формулой (33) равна:

$$\bar{P} = \frac{U_0^2 U_n}{(D/2)^2} \cdot 10^{-3} \left[ \vartheta_{хл} \Psi_{хл} + \vartheta_{сс} \Psi_{сс} + \vartheta_{а.из} \Psi_{а.из} \right] =$$

$$= \frac{863,3^2 \cdot 750}{1150^2 \cdot 10^3} \left[ 10,8 \cdot 0,867 + 23 \cdot 0,069 + 57 \cdot 0,064 \right] = 6,2 \text{ кВт/км}$$

Расчет среднегодовой мощности потерь на корону
для горной ВЛ переменного тока

Необходимо определить среднегодовую мощность потерь на корону для ВЛ 330 кВ Акстафа - Ереван, проходящую по горным районам Армении на высоте от 250 до 2250 м над уровнем моря.

Линия имеет одну цепь с горизонтально расположенными фазами и два грозозащитных троса. Расстояние между фазами $D$ = 11,2 м, эквивалентная высота проводов над землей $h$ =16 м; расстояние между тросами $D_{тр}$ = 17,4 м, эквивалентная высота тросов над землей $h_{тр}$ = 22 м, марка троса СТ-70, диаметр троса $2r_{тр}$ = 11 мм,

По всей трассе линии выбран провод 2 х АСУ-400/40.

В данном примере используется упрощенный метод расчета с выделением четырех основных групп погоды, указанных в п.4.

Емкости проводов крайних и средней фаз и максимальная напряженность на проводах, вычисленные согласно приложению 1, соответственно равны: $C_1$=10,8 пф/м, $C_2$=11,4 пф/м,

$E_{Э1}$ = 18,72 кВ/см и $E_{Э2}$= 19,76 кВ/см.

Трасса ВЛ разделена на три **климатические зоны.** Вероятность отдельных групп погоды для каждой зоны $\psi_i$ определена по данным наблюдений метеостанций, расположенных в соответствующей зоне. Для более точного учета относительной плотности воздуха $\bar{\delta}$ каждая зона разбивалась на участки по высоте над уровнем моря. Разница между отметками по высоте на границах каждого участка принята $\Delta H$ = 300 м, кроме участка на Семеновском перевале, где $\Delta H$ = 200 м, Для каждого $j$-го участка определена средняя высота $H_j$ над уровнем моря и (по номограмме рис. 2) соответствующая значению $H_j$ среднегодовая относительная плотность воздуха $\bar{\delta}_j$ и начальная напряженность короны $E_{0j}$ при $m$=1. Коэффициент негладкости $m_j$ в соответствии с табл. 4 для дождя и изморози принят равным 0,82, а для хорошей погоды и сухого снега - соответственно 0,72 и 0,78 (в зависимости от характера грунта на данном участке трассы), Разбивка трассы на зоны и участки с указанием значений $\psi_i, H_j, \delta_j, m_j$ и $E_{0j}$ даны в табл. 11 (см. вклейку). Здесь же приведены значения обобщенных потерь на корону $\theta_{ij}$, определенные по рис. 16, 17 и 18, и среднегодовая мощность потерь на корону для каждого участка

$$\bar{P}_j \ell_j = n r_0^2 \ell_j \sum_{i=1}^{4} \theta_{ij} \psi_i$$

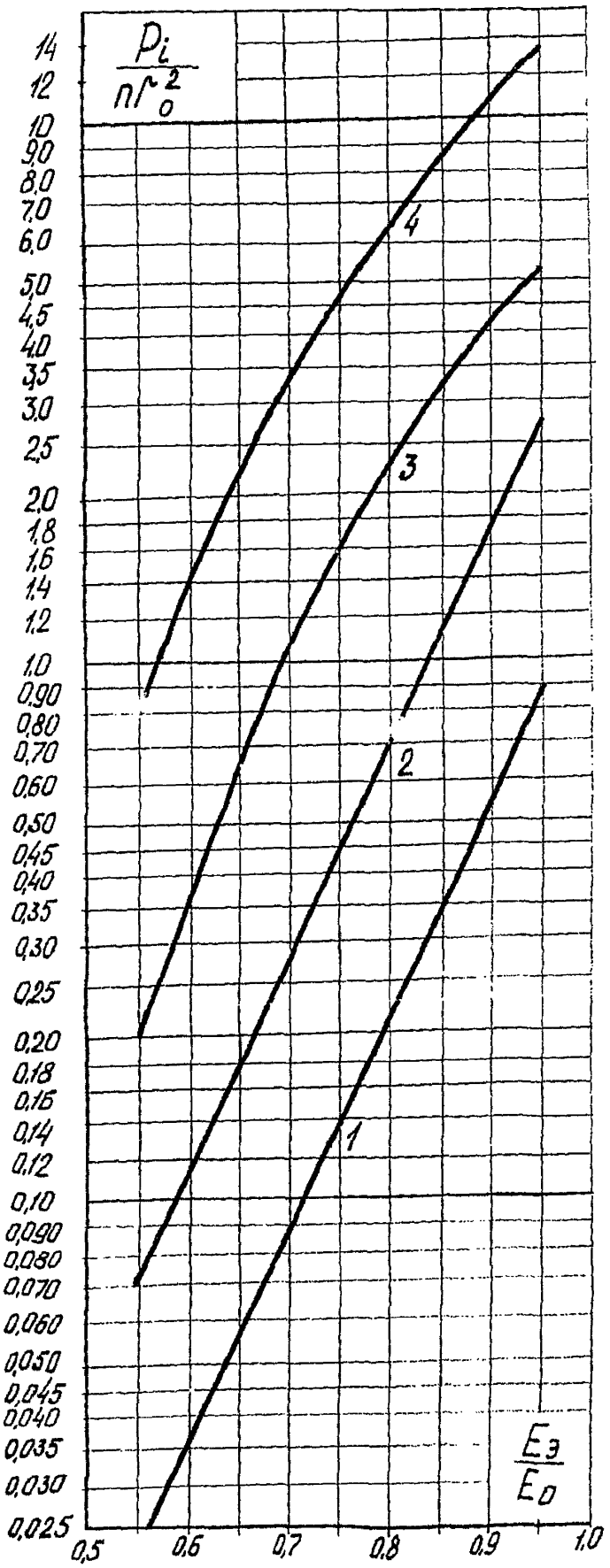
Среднегодовая мощность потерь на корону для всей линии, вычисленная по формуле (46), получилась равной $\bar{P}_L = 1,4$ кВт/км.

## Приложение 8
## ВКЛЕЙКА

Таблица

Значения параметров ВА 350 кВ Акстафа - Хревен для вычисления среднегодовой мощности потерь на корону

| Климатическая з | | Вероятность групп погоды (средняя за 5 лет) | | | | № участка | $\ell_j$ км | $H_j$ над уровнем моря | $\bar{\delta}_j$ | $E'_{0j}$ при $m$= 1 кВ/см (амп.) | $m_j$ | | Хорошая погода и сухой снег | | | Дождь и изморозь | | | $E_{uj}$ | | | | $\theta_{2u}$ | | | | $\theta_u = 2\theta_{1u} + \theta_{2u}$ | | | | | | | | $\bar{\theta}_u = \sum_{i=1}^{4} \theta_u \psi_u$ | $\bar{P}_j \ell_j =$ $= \bar{\theta}_u \ell_j$ кВт |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Хорошая погода | Сухой снег | Дождь | Изморозь | | | | | | Хорошая погода и сухой снег | Дождь и изморозь | $E_{0j}$ кВ/см (амп.) | $\frac{E_{э1}}{E_{0j}}$ | $\frac{E_{э2}}{E_{0j}}$ | $E_{0j}$ кВ/см (амп.) | $\frac{E_{э1}}{E_{0j}}$ | $\frac{E_{э2}}{E_{0j}}$ | Хорошая погода | Сухой снег | Дождь | Изморозь | Хорошая погода | Сухой снег | Дождь | Изморозь | Хорошая погода | Сухой снег | Дождь | Изморозь | | | | | | |
| | Акстафа-Семеновск перевал | 0,93 | 0,042 | 0,024 | 0,004 | 1 | 27 | 450 | 0,97 | 36,5 | 0,78 | 0,82 | 28,5 | 0.657 | 0,693 | 29,95 | 0,625 | 0,690 | 0,093 | 0,53 | 2,09 | 3,78 | 0,118 | 0,67 | 2,76 | 4,66 | 0,304 | 1,73 | 6,94 | 12,22 | 0,283 | 0,073 | 0,167 | 0,019 | 0,542 | 61,5 |
| | | | | | | 2 | 21 | 750 | 0,942 | 35,7 | 0,78 | 0,82 | 27.85 | 0,672 | 0,710 | 29,30 | 0,639 | 0,674 | 0,103 | 0,58 | 2,33 | 4,10 | 0,135 | 0,75 | 3,06 | 5,03 | 0,359 | 1,91 | 7,72 | 13,23 | 0,315 | 0,080 | 0,185 | 0,020 | 0,600 | 53,0 |
| | | | | | | 3 | 16 | 1050 | 0,915 | 34,7 | 0,78 | 0,82 | 27,05 | 0,592 | 0,730 | 28.45 | 0,658 | 0,695 | 0.118 | 0,665 | 2,72 | 4,60 | 0.151 | 0,355 | 3,57 | 5,70 | 0,587 | 2,185 | 9,01 | 14,90 | 0,360 | 0,092 | 0,216 | 0,025 | 0,691 | 46,5 |
| | | | | | | 4 | 2 | 1350 | 0,885 | 33,7 | 0,78 | 0,82 | 26,3 | 0,712 | 0,751 | 27,60 | 0,678 | 0,716 | 0,155 | 0,76 | 3,17 | 5,20 | 0,175 | 0,99 | 4,12 | 6,45 | 0,445 | 2,51 | 10,46 | 16,35 | 0,414 | 0,105 | 0,251 | 0,026 | 0,796 | 6,7 |
| | | | | | | 5 | 3 | 1650 | 0,850 | 32,9 | 0,72 | 0,82 | 23,7 | 0,790 | 0,834 | 27,00 | 0,693 | 0,752 | 0,226 | 0,54 | 3,53 | 5,68 | 0,297 | 0,78 | 4,50 | 7,05 | 0,749 | 1,36 | 11,66 | 18,35 | 0,697 | 0,078 | 0,280 | 0,028 | 1,033 | 13,7 |
| | | | | | | 6 | 3 | 1950 | 0,835 | 32,0 | 0,72 | 0,82 | 23,0 | 0,814 | 0,859 | 26,25 | 0,713 | 0,753 | 0,260 | 0.656 | 4,04 | 6,35 | 0,348 | 0,96 | 5,25 | 7,95 | 0,853 | 2,292 | 13,31 | 20,65 | 0,807 | 0,096 | 0,319 | 0,032 | 1,254 | 15,8 |
| I | Семеновск Перевал – Атарбекин | 0,910 | 0,023 | 0,038 | 0,029 | 7 | 13 | 2150 | 0,817 | 31,3 | 0,72 | 0,82 | 22,5 | 0,832 | 0,878 | 26,70 | 0,728 | 0,769 | 0,292 | 0,765 | 4,47 | 6,90 | 0,338 | 1,13 | 5,75 | 8,65 | 0,972 | 2,66 | 14,69 | 22,45 | 0,885 | 0,061 | 0,558 | 0,651 | 2,155 | 117.8 |
| | | | | | | 8 | 6 | 1950 | 0,835 | 32,0 | 0,78 | 0,82 | 24,95 | 0,750 | 0,792 | 26,25 | 0,713 | 0,753 | 0,175 | 0,980 | 4,04 | 6,35 | 0,227 | 1,29 | 5,23 | 7,95 | 0,573 | 3,25 | 13,31 | 20,65 | 0,521 | 0,075 | 0,506 | 0,599 | 1.701 | 42,9 |
| | | | | | | 9 | 19 | 1650 | 0,850 | 32,9 | 0,78 | 0,82 | 25,7 | 0,728 | 0,769 | 27,00 | 0,593 | 0,732 | 0,149 | 0,345 | 3,53 | 5,65 | 0,196 | 1,10 | 4,30 | 7,05 | 0,494 | 2,79 | 11,36 | 18,35 | 0,450 | 0,064 | 0,443 | 0,532 | 1,489 | 119,0 |
| II | Атарбекин Ереван | 0,942 | 0,032 | 0,021 | 0,005 | 10 | 16 | 1650 | 0,850 | 32,9 | 0,78 | 0,82 | 25,7 | 0,728 | 0,769 | 27,00 | 0,593 | 0,732 | 0,149 | 0,845 | 3,53 | 5,65 | 0,196 | 1,10 | 4,30 | 7,05 | 0,494 | 2,79 | 11,66 | 18,35 | 0,465 | 0,089 | 0,245 | 0,092 | 0,891 | 59,9 |
| | | | | | | 11 | 19 | 1350 | 0,885 | 33,7 | 0,78 | 0,82 | 26,3 | 0,712 | 0,751 | 27,60 | 0,678 | 0,716 | 0,155 | 0,76 | 5,17 | 5,20 | 0,174 | 0,99 | 4,12 | 6,45 | 0,445 | 2,51 | 10,46 | 16,35 | 0,419 | 0,080 | 0,220 | 0,084 | 0,005 | 64,2 |
| | | | | | | 12 | 3 | 1050 | 0,915 | 34,7 | 0,78 | 0,82 | 27,05 | 0,692 | 0,750 | 28,45 | 0,656 | 0,593 | 0,118 | 0,665 | 2,72 | 4,60 | 0,151 | 0,855 | 3,57 | 5,70 | 0,387 | 2,185 | 9,01 | 14,90 | 0,365 | 0,070 | 0,189 | 0,075 | 3,639 | 23,5 |




Обобщенные характеристики потерь на корону при $m = 0,82$ для различных групп погоды:
1 - хорошая погода; 2 -сухой снег; 3 - дождь; 4 - изморозь

# Оглавление

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ..... 3

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОДОВ ..... 4

ВЫБОР ПРОВОДОВ ПО ДОПУСКАЕМОМУ УРОВНЮ РАДИОПОМЕХ ..... 9

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ ДЛЯ ВЛ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ..... 17

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ ДЛЯ ВЛ ПОСТОЯННОГО ТОКА ..... 25

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ ДЛЯ ГОРНЫХ ВЛ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ..... 29

ОЦЕНКА ЗАТРАТ ПРИ ВЫБОРЕ ПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ НА КОРОНУ ..... 35

*Приложение 1*
РАСЧЕТ ЗАРЯДОВ НА ПРОВОДАХ И РАБОЧИХ ЕМКОСТЕЙ ВЛ ..... 39

Приложение 2
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ВОЗДУХА ..... 46

Приложение 3
МЕТОДИКА ПОДБОРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ..... 50

Приложение 4
ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ В ОТДЕЛЬНЫХ ПУНКТАХ СССР ..... 52

Приложение 5
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОВПАДЕНИЯ МАКСИМУМА НАГРУЗКИ И ПОВЫШЕННЫХ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ ..... 59

Приложение 6
ПРИМЕР РАСЧЕТА СТОИМОСТИ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРИ ВЫБОРЕ ПРОВОДОВ ВЛ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ ..... 61

Приложение 7 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА СРЕДНЕГОДОВОЙ МОЩНОСТИ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ ..... 64

gost.e-ecolog.ru

Приложение 8 ВКЛЕЙКА ..... 70