

УДК 551.555.4

DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-8-96-105

**УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АТМОСФЕРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ  
ПРИ ОЦЕНКЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ОТ КОРОННОГО РАЗРЯДА  
НА ГОРНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

*Ю.П. Симаков, Ш.Б. Дикамбаев*

*Аннотация.* Разработана уточненная система координат для обобщения всех экспериментальных данных по потерям мощности от короны на основе опубликованных в литературе данных и результатов собственных исследований; приведены правила пересчета экспериментальных характеристик, полученных в условиях опыта на другие отличные условия для опытных и реальных воздушных линий электропередачи, расположенных на различных высотах над уровнем моря и различных климатических условиях. Получены обобщенные характеристики потерь мощности от короны в виде эмпирической формулы, позволяющие вычислить удельную мощность потерь от короны в любую погоду как для равнинной, так и для горной воздушной линии, проходящей над любой отметке над уровнем моря с учетом снижения относительной плотности воздуха.

*Ключевые слова:* линии электропередачи; коронный разряд; потери мощности; относительная плотность воздуха; обобщенные характеристики; погодные условия; эмпирические формулы; условия высокогорья; зона ионизации.

---

**ӨТӨ ЖОГОРКУ ЧЫҢАЛУУДАГЫ ЭЛЕКТР ӨТКӨРҮҮЧҮ ТОО ЛИНИЯЛАРЫНДА  
ТААЖЫЛЫК РАЗРЯДАН КУБАТТУУЛУКТУ ЖОГОТУУНУ БААЛООДО  
КЛИМАТТЫК ЖАНА АТМОСФЕРАЛЫК ӨЗГӨРҮҮЛӨРДҮ ЭСЕПКЕ АЛУУ**

*Ю.П. Симаков, Ш.Б. Дикамбаев*

*Аннотация.* Макалада өз алдынча изилдөөлөрдүн маалыматтарынын жана натыйжаларынын негизинде ар кандай бийиктиктерде жайгашкан тажрыйбалуу жана чыныгы аба электр берүү линиялары үчүн башка жакшы шарттарда тажрыйба жүзүндө алынган эксперименталдык мүнөздөмөлөрдү кайра эсептөө эрежелерин камсыз кылуу, таажы электр жоготуулары боюнча бардык эксперименталдык маалыматтарды жалпылоо үчүн такталган координаттар системасы иштелип чыккан. Эмпирикалык формула катары таажыдан электр жоготууларынын жалпыланган мүнөздөмөлөрү алынган, абанын салыштырмалуу тыгыздыгынын төмөндөшүн эске алуу менен деңиз деңгээлинен ар кандай бийиктикте өтүүчү түздүк жана тоо аба линиясы үчүн ар кандай аба ырайында таажынын жоготууларынын салыштырма кубаттуулугун эсептөөгө мүмкүндүк берет.

*Түйүндүү сөздөр:* электр берүү линиялары; таажылык разряд; кубаттуулукту жоготуу; абанын салыштырмалуу тыгыздыгы; жалпыланган мүнөздөмөлөр; аба ырайы шарттары; эмпирикалык формулалар; бийик тоодогу шарттар; иондошуу зонасы.

---

**CONSIDERATION OF CLIMATIC AND ATMOSPHERIC CHANGES  
IN THE ASSESSMENT OF POWER LOSSES FROM CORONA DISCHARGE  
ON MOUNTAIN TRANSMISSION LINES OF ULTRAHIGH VOLTAGE**

*Yu.P. Simakov, Sh.B. Dikambaev*

*Abstract.* Based on the data published in the literature and the results of our own research, an updated coordinate system has been developed to generalize all experimental data on power losses from the corona, and the rules for recalculating experimental characteristics obtained under experimental conditions to other excellent conditions for

experimental and real overhead power lines located at different altitudes and different climatic conditions are given. Generalized characteristics of corona power losses are obtained in the form of an empirical formula that allows calculating the specific power of corona losses in any weather for both flat and mountainous overhead lines passing at any elevation above sea level, taking into account a decrease in relative air density.

*Keywords:* power transmission lines; corona discharge; power losses; relative air density; generalized characteristics; weather conditions; empirical formulas; highland conditions; ionization zone.

При передаче электрической энергии от генерирующих источников до потребителей всегда имеют место потери электроэнергии, обусловленные физическими процессами, происходящими в линиях электропередачи (ЛЭП).

Одной из составляющих потерь в воздушных линиях (ВЛ) электропередачи являются потери, вызванные коронным разрядом (короной). Особенно ощутимы потери мощности от короны на проводах горных ВЛ 220–500 кВ, достигающие нескольких десятков киловатт на один километр линии. Это вызвано тем, что горные ЛЭП высших классов напряжения имеют свои специфические особенности, обусловленные геофизическими и климатическими условиями высокогорья. С увеличением высоты прохождения трассы ЛЭП над уровнем моря (н.у.м.) существенно понижается плотность воздуха ( $\delta$ ). В связи с этим, коронный разряд на проводах высокогорных ЛЭП будет возникать при меньших напряжениях, чем на равнинных линиях. Потери мощности на корону на проводах высокогорных линий будут больше, чем на проводах таких же линий, расположенных в равнинных условиях, т. е. пониженная плотность воздуха ( $\delta$ ) является одним из основных факторов повышающих уровень потерь на корону на горных ВЛ.

В настоящее время методика оценки потерь мощности от коронного разряда на линиях сверхвысокого (ВЛ 330–750) (СВН) и ультравысокого (УВН) (ВЛ напряжением более 750 кВ) напряжения, в том числе и на горных ВЛ, регламентируется нормативными документами: «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», выпущенными в 1975 г. (РУ-75) [1] и переизданными без изменений в 2009 г. (РУ-2009) [2]. Однако длительная практика проектирования горных ВЛ, многолетние исследования потерь от короны на высокогорных опытных пролётах [3–8], а также публикации последних лет показали, что для горных ВЛ расчеты потерь мощности от короны, выполняемые по методике этих документов, дают существенные погрешности. Поэтому возникла необходимость уточнений существующих и разработки новых методов оценки потерь мощности от короны на горных линиях электропередачи.

Для этих целей, на основе опубликованных в литературе экспериментальных данных и наших собственных исследований [3–7], были разработаны правила пересчета экспериментальных характеристик, полученных в условиях опыта на другие отличные условия [3], которые позволили разработать уточненную систему координат для обобщения всех экспериментальных данных по потерям мощности от короны, полученных на различных экспериментальных установках, опытных и реальных ВЛ, расположенных на различных высотах н.у.м.:

$$\frac{PE_0^2(1)}{nr_0^2E_0^2(\delta)} = f \left( \frac{E}{E_0(1)} \frac{E_0(1)}{E_0(\delta)} \right), \quad (1)$$

где  $P$  – мощность потерь на корону;  $E_0(1)$  – начальная напряженность появления общей короны при относительной плотности воздуха  $\delta = 1$ ;  $n$  – число составляющих проводов в расщепленной фазе;  $r_0$  – радиус составляющего одиночного провода;  $E_0(\delta)$  – начальная напряженность появления общей короны при относительной плотности воздуха на данной высоте над ур. м.  $\delta < 1$ ;  $E$  – напряженность электрического поля на поверхности проводов.

Данная система координат позволяет по экспериментальным данным, полученным на проводах равнинных ВЛ (при относительной плотности воздуха  $\delta = 1$ ), определить величину потерь от короны

на горной ВЛ при пониженной относительной плотности воздуха ( $\delta < 1$ ) и наоборот, по характеристикам потерь, полученным на горной ВЛ, найти потери от короны равнинной, т. е. установить правило пересчета потерь мощности от короны с одних условий на другие. Подробное описание правил (методики) пересчета, пример пересчета потерь мощности от короны для ВЛ 500 кВ с условий высокогорья (высота 3050 м над ур. м.) на равнинные и обратный пересчет с равнинных условий на горные приведены в работе [3].

Предлагаемые обобщенные координаты (1) и правила пересчета потерь мощности с одних условий на другие были получены авторами [3] исключительно для хорошей погоды (погода без атмосферных осадков), и учитывают только изменения плотности воздуха. Однако следует ожидать, что различные атмосферные явления и погодные условия, отличающиеся от хорошей погоды, могут оказывать различное влияние на уровень потерь от короны. Исследованиями установлено, что повышенная влажность воздуха, туман, твердые и жидкие осадки, отложения на проводах в виде налипшего (намерзшего) снега, изморози, гололеда и др., оказывают существенное влияние на коронирование проводов линий электропередачи, приводя к повышению уровня потерь мощности на корону по сравнению с уровнем потерь при хорошей погоде, примерно от 3 до 30 раз в зависимости от вида осадков. В то же время, при расчете потерь на корону, в соответствии с «Руководящими указаниями 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» РУ-75, РУ-2009 [1, 2], множество разновидностей осадков рекомендуется объединить в четыре основные группы погоды, каждая из которых характеризуется своим уровнем потерь: первая группа – хорошая погода (х.п.); вторая группа – сухой снег (с.с.); третья группа – дождь (д.); четвертая группа – изморозь (из.).

К сухому снегу отнесены собственно погода с сухим снегом, а также снежная крупа, снежные зерна, ледяные иглы, метели, поднимающие снег до проводов. В климатических справочниках все эти виды осадков совокупно обозначаются как твердые осадки, в дальнейшем мы будем пользоваться термином «сухой снег» (с.с.).

К дождям отнесены разные виды дождей, мокрый снег, снег с дождем, а также морось, так как их влияние на потери от короны примерно одинаково, в справочниках эти виды осадков обозначаются как «жидкие осадки» и смешанные осадки, в дальнейшем мы будем пользоваться термином «дождь» (д.).

В группу изморози входят также гололед, плотная и кристаллическая изморозь, замерзший снег и мокрый замерзший снег на проводах и их смеси. В дальнейшем будем пользоваться термином «изморозь» (из.).

Все остальные виды погоды отнесены к группе хорошей погоды.

Ранее предложенные нами обобщенные координаты (1) и правила пересчета потерь от короны с одних условий на другие, изложенные в [3], были выведены для условий хорошей погоды без учета влияния атмосферных осадков. Как показали результаты пересчетов экспериментальных данных с условий высокогорья на равнинные и обратный пересчет (с условий равнин на условия высокогорья) по предложенным правилам, дают удовлетворительные результаты только для условий хорошей погоды. Для других групп погоды обобщение в координатах (1) и пересчет по разработанному правилу дает удовлетворительный результат только для изморози. Для сухого снега и дождя погрешность пересчетов составляет от 25 до 50 %. В связи с этим, проанализируем причины, вызывающие указанные погрешности.

Обобщенные координаты (1) и правила пересчета потерь мощности от короны с одних условий на другие, были получены на основе применения теории подобия и физического моделирования, где рассматривались идентичные конструкции ВЛ, расположенных в разных условиях: одна в горах при пониженной плотности воздуха ( $\delta < 1$ ), другая на равнине ( $\delta = 1$ ).

При этом критериальное соотношение имело вид [3]:

$$\frac{P_p}{\varepsilon_0 f U_0^2(\delta)} = \theta \left( \frac{U}{U_0(\delta)}, \frac{r_0^2 f}{k_+ U_0(\delta)}, \frac{\mu \varepsilon_0}{k_+ \varepsilon_0}, \frac{k_+}{k}, q \right), \quad (2)$$

где  $P$  – мощность потерь от короны;  $U_0(\delta)$  – начальное напряжение общей короны с учетом плотности воздуха на данной высоте над ур. м.;  $U$  – напряжение на линии;  $f$  – частота переменного тока;  $r_0$  – радиус провода;  $k$  – коэффициент подвижности ионов;  $\mu$  – коэффициент объемной рекомбинации;  $\varepsilon_0$  – элементарный заряд;  $\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость воздуха;  $q$  – геометрические параметры линии.

Подробный анализ критериев подобия, входящих в уравнение (2), показал, что все они выполняются, кроме критерия  $\mu\varepsilon_0 / k_+\epsilon_0$ , учитывающего рекомбинацию и подвижность ионов в зоне ионизации коронного разряда. При этом, учитывая, что на реальных ЛЭП рассматривается местная корона, которой сопутствует малая плотность объемных зарядов, было сделано допущение, что этот критерий практически не оказывает существенного влияния на обобщенные потери от короны. Действительно, для хорошей погоды это допущение вполне справедливо. Однако при выпадении осадков капельки дождя и снежинки, попадая в зону ионизации коронного разряда, оказывают существенное влияние на рекомбинацию ионов, увеличивая объемную плотность заряда. К тому же, капли дождя и снежинки, осевшие на поверхность провода, резко увеличивают напряженность поля в зоне ионизации, что также приводит к усилению ионизационных процессов и увеличению объемной плотности зарядов. Поэтому становится очевидно, что при погоде с осадками критерий  $\mu\varepsilon_0 / k_+\epsilon_0$  оказывает существенное влияние на обобщенные характеристики потерь мощности от короны и пренебрежение им может привести к ощутимым ошибкам при пересчетах. Поэтому, при пересчетах и построении характеристик короны в «плохие» виды погоды с осадками, в обобщенные координаты (1) необходимо ввести поправки, учитывающие изменение критерия  $\mu\varepsilon_0 / k_+\epsilon_0$ .

К сожалению, учет указанного критерия при погоде с осадками (зависящего от подвижности, рекомбинации и заряда ионов и пр.) аналитическим путем представляет собой невыполнимо сложную задачу. Поэтому, имея экспериментальные характеристики потерь мощности на корону для равнинных и высокогорных ВЛ при различных видах погоды, можно эмпирическим путем найти соответствующие поправки в соотношение (1) при пересчетах потерь на корону с одних условий на другие. При этом правило пересчета потерь мощности от короны с условий высокогорной ВЛ на условия равнинной ВЛ для группы погоды «сухой снег», будет иметь вид:

$$\frac{P_{\text{cc}}E_0^2(\delta)}{nr_0^2E_0^2(1)} = f \left[ \frac{E}{E_0(\delta)} \left( \frac{E_0(\delta)}{E_0(1)} \right)^{0,9} \right]; \quad (3)$$

для группы погоды «дождь»:

$$\frac{P_{\text{a}}E_0^2(\delta)}{nr_0^2E_0^2(1)} = f \left[ \frac{E}{E_0(\delta)} \left( \frac{E_0(\delta)}{E_0(1)} \right)^{0,8} \right]. \quad (4)$$

Формула обратного пересчета будет иметь вид для «сухого снега»:

$$\frac{P_{\text{cc}}E_0^2(1)}{nr_0^2E_0^2(\delta)} = f \left[ \frac{E}{E_0(1)} \left( \frac{E_0(1)}{E_0(\delta)} \right)^{0,9} \right]; \quad (5)$$

для «дождя»:

$$\frac{P_{\text{cc}}E_0^2(1)}{nr_0^2E_0^2(\delta)} = f \left[ \frac{E}{E_0(1)} \left( \frac{E_0(1)}{E_0(\delta)} \right)^{0,8} \right]. \quad (6)$$

Для группы погоды «изморозь» обобщенные координаты и правила пересчета, как было отмечено ранее, остаются такими же, как и для «хорошей погоды» [3].

Поправки в соотношения (3), (4), (5) и (6) в виде показателей степеней при аргументах, то есть:

$$\left(\frac{E_0(\delta)}{E_0(1)}\right)^{0,9}, \left(\frac{E_0(1)}{E_0(\delta)}\right)^{0,9} \text{ – для «сухого снега»};$$

$$\left(\frac{E_0(\delta)}{E_0(1)}\right)^{0,8}, \left(\frac{E_0(1)}{E_0(\delta)}\right)^{0,8} \text{ – для «дождя»}$$

были найдены эмпирическим путем из сравнения обобщенных характеристик потерь мощности от короны, полученных в равнинных и горных условиях (рисунки 1, 2 и 3). При этом, в качестве равнинных были использованы обобщенные характеристики из Руководящих указаний [1, 2] (обозначенные на рисунках цифрой 1), а горных (обозначенные цифрой 2) – результаты наших собственных многолетних исследований, выполненных на Высокогорной научно-исследовательской станции «Тюз-Ашу», расположенной на высоте 3050 м над ур. м. [4–8].

Для графической иллюстрации правил пересчета, с учетом найденных поправок для различных групп погоды, рассмотрим характеристики потерь от короны, представленные на рисунках 1, 2 и 3 (обобщенные характеристики).

На рисунке 1 приведены результаты пересчетов в обобщенных координатах (3), для «сухого снега» с условий горной ВЛ на равнинные (на рисунке 1 обозначены значками – •) и обратный пересчет с равнинной ВЛ на горную в обобщенных координатах (5) (на рисунке 1 результаты пересчетов обозначены знаками – о).

Аналогичные пересчеты были выполнены для группы погоды «дождь» с использованием обобщенных координат (4) и (6). Результаты пересчетов показаны на рисунке 2. Пересчеты характеристик для «изморози» показаны на рисунке 3. Для этой группы погоды поправок при пересчетах на требуется, и как было отмечено ранее, пересчеты необходимо выполнять в координатах (1), как и для «хорошей погоды».

Таким образом, на рисунках 1, 2 и 3 видно, что результаты пересчетов характеристик потерь мощности от короны, по правилам (3), (4) и (5) с условий горной ВЛ на равнинные и обратно, – с условий равнинной на горные ВЛ, дают хорошее совпадение и соответственно достаточную точность (не более 10 %) для практических расчетов.

Из соотношений (1), (3) и (4) видно, что правило пересчета потерь на корону с условий высокогорья на равнинные условия для любых групп погоды в общем виде можно записать как

$$\frac{P}{nr_0^2} \left(\frac{E_0(\delta)}{E_0(1)}\right)^2 = \left[ \frac{E}{E_0(\delta)} \left(\frac{E_0(\delta)}{E_0(1)}\right)^\alpha \right], \tag{7}$$

где  $\alpha$  – показатель степени, зависящий от условий погоды; для «хорошей погоды» и «изморози»  $\alpha = 1$ , для «сухого снега»  $\alpha = 0,9$ , для «дождя»  $\alpha = 0,8$ . Аналогично, для формул обратного пересчета получаем:

$$\frac{P}{nr_0^2} \left(\frac{E_0(1)}{E_0(\delta)}\right)^2 = \left[ \frac{E}{E_0(1)} \left(\frac{E_0(1)}{E_0(\delta)}\right)^\alpha \right]. \tag{8}$$

Таким образом, обобщение всех опытных данных по потерям мощности от короны, полученных как в равнинных, так и в горных условиях с учетом относительной плотности воздуха, погодных условий, числа и радиуса составляющих проводов расщепленной фазы, рекомендуется разработанная система координат (7).

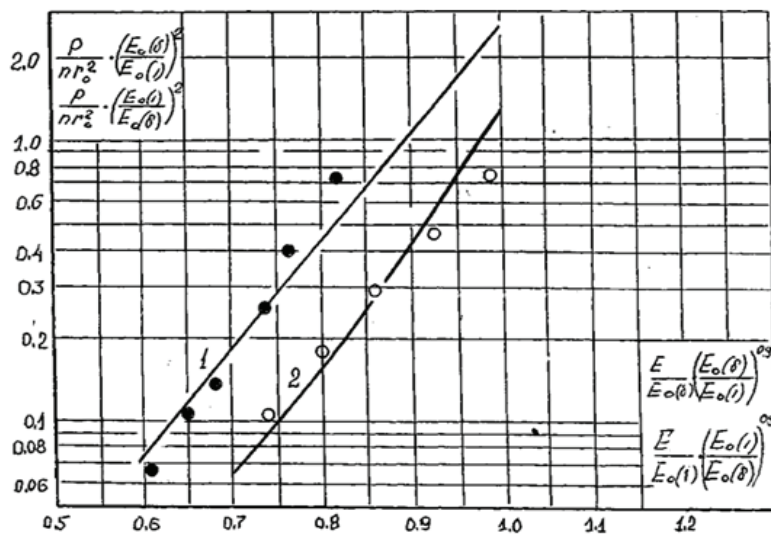


Рисунок 1 – Результаты обобщений в разработанных координатах для сухого снега:  
 1 – обобщенная характеристика равнинной ВЛ; 2 – обобщенная характеристика горной ВЛ;  
 ● – результаты пересчетов данных горной ВЛ на равнинные условия;  
 ○ – результаты пересчетов равнинных данных на горные условия

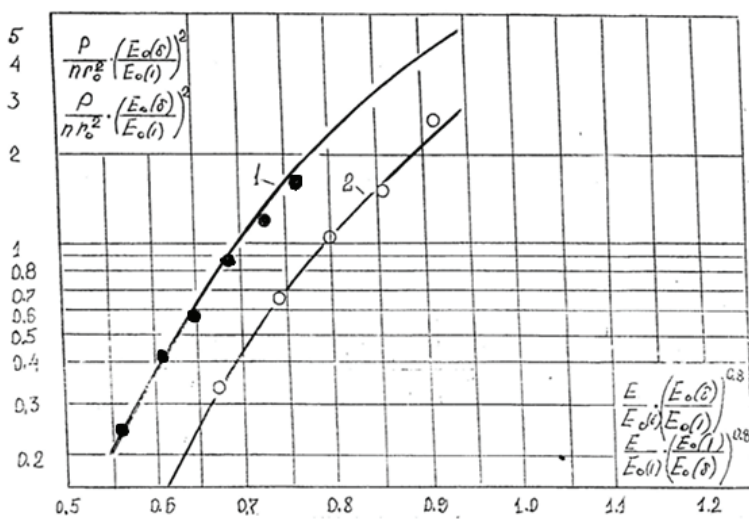


Рисунок 2 – Результаты обобщений в разработанных координатах для дождя:  
 1 – обобщенная характеристика равнинной ВЛ; ● – результаты пересчетов горных данных на равнинные условия; ○ – результаты пересчетов равнинных данных (РУ) на условия горной ВЛ

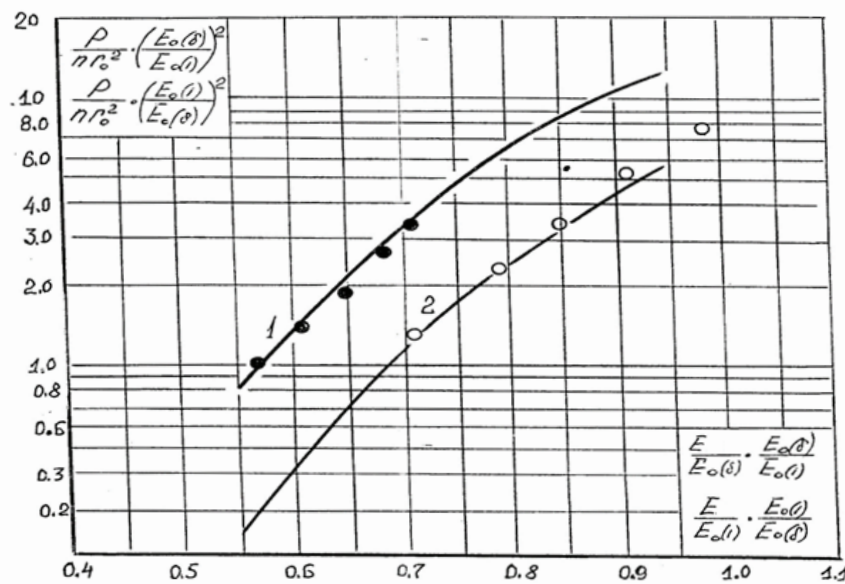


Рисунок 3 – Результаты обобщений в разработанных координатах для изморози:  
 1 – обобщённая кривая РУ; 2 – обобщённая кривая Тюз-Ашу; ● – результаты пересчётов горных данных Тюз-Ашу на равнинные условия; ○ – результаты пересчётов равнинных данных (РУ) на условия Тюз-Ашу

Для практического использования характеристики потерь мощности от короны для различных видов погоды, представленные на рисунках 1, 2, 3, и для хорошей погоды [3], сведены в единые обобщенные координаты, приведенные на рисунке 4.

Полученные на рисунках 1, 2 и 3 обобщенные характеристики потерь мощности от короны для равнинных и горных ВЛ в различную погоду могут быть выражены одной эмпирической формулой:

$$P = \left( \frac{E_0(1)}{E_0(\delta)} \right)^2 nr_0^2 e^{A \left[ \left( \frac{E_0(1)}{E_0(\delta)} \right)^\alpha \frac{E}{E_0(\delta)} \right]^2 + B \left( \frac{E_0(\delta)}{E_0(1)} \right)^\alpha \frac{E}{E_0(\delta)} + C} \quad (9)$$

или в экспоненциальном виде, что одно и то же:

$$P = \frac{E_0^2(1)}{E_0^2(\delta)} nr_0^2 \exp \left[ A \left( \left( \frac{E_0(\delta)}{E_0(1)} \right)^\alpha \frac{E}{E_0(\delta)} \right)^2 + B \left( \frac{E_0(\delta)}{E_0(1)} \right)^\alpha \frac{E}{E_0(\delta)} + C \right], \quad (10)$$

где коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и показатель  $\alpha$  зависят от погодных условий (назовем их коэффициентами погоды), их значения вычислены по правилам подбора эмпирических формул и приведены в таблице 1.

В результате по предлагаемым эмпирическим формулам (9), (10) можно вычислить удельную мощность потерь от короны в любую погоду, как для равнинной, так и для горной ВЛ, проходящей на любой отметке над уровнем моря с учетом снижения относительной плотности воздуха.

Для доказательства справедливости предложенных методов пересчета (7) и (8), в разработанных координатах на рисунке 4 и эмпирической формуле (9), в таблице 2 приведены результаты расчетов удельных потерь мощности от короны, выполненные различными методами (способами) для двух

Таблица 1 – Значения коэффициентов погоды

Обозначение коэффициента	Группа погоды			
	Хорошая погода	Сухой снег	Дождь	Изморозь
A	0	0,053	-11,02	-8,92
B	9,22	8,98	24,73	20,33
C	-8,89	-7,59	-11,88	-8,68
$\alpha$	1	0,9	0,8	1

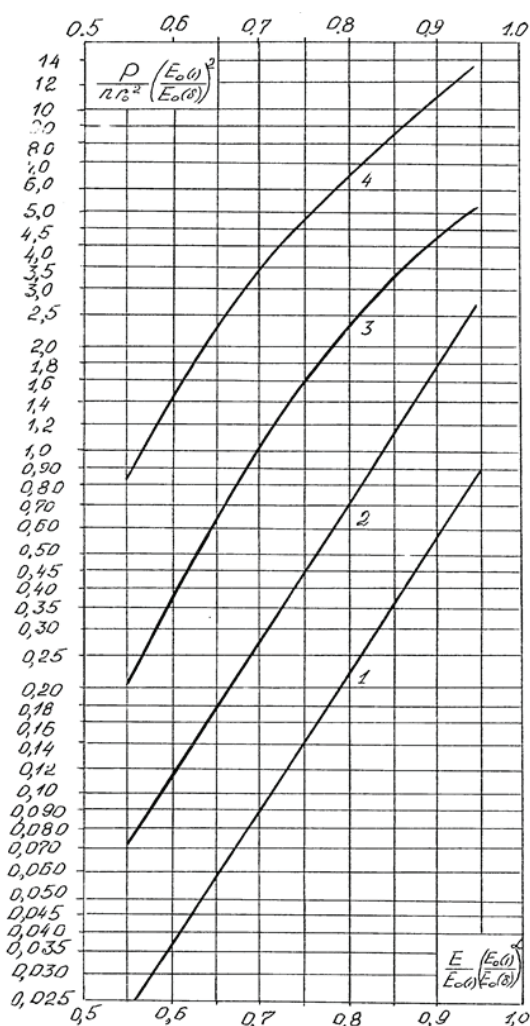


Рисунок 4 – Обобщённые характеристики мощности потерь на корону для различных групп погоды: 1 – хорошая погода,  $\alpha = 1$ ; 2 – сухой снег,  $\alpha = 0,9$ ; 3 – дождь,  $\alpha = 0,8$ ; 4 – изморозь,  $\alpha = 1$



Таблица 2 – Удельные потери мощности от короны на идентичных горных и равнинных ВЛ 500 кВ (на одной фазе), определенные разными способами

Группа погоды	Способ определения	Мощность потерь от короны, в кВт/км	
		Горная ВЛ ( $\alpha = 0,74$ )	Равнинная ВЛ ( $\alpha = 1$ )
Хорошая погода (х.п.)	По формуле (9)	0,492	0,22
	По обобщенным характеристикам	0,451	0,255
	Экспериментальные данные	0,446	-
Сухой снег (с.с.)	По формуле (9)	1,65	0,688
	По обобщенным характеристикам	1,62	0,7
	Экспериментальные данные	1,64	-
Дождь (д.)	По формуле (9)	7,18	2,34
	По обобщенным характеристикам	7,03	2,3
	Экспериментальные данные	6,88	-
Изморозь (из.)	По формуле (9)	17,1	6,52
	По обобщенным характеристикам	17,51	6,5
	Экспериментальные данные	16,48	-

идентичных ВЛ 500 кВ, расположенных в разных условиях – одна в горах, другая на равнине. Расчеты были выполнены для одной фазы с проводами 3хАС-500/64 при одном и том же рабочем напряжении линии, соответствующему отношению напряженности на проводах  $E$  к начальной напряженности общей короны  $E_0$ , равной 0,8, то есть  $E/E_0 = 0,8$  (на реальных ВЛ значения  $E/E_0$  обычно составляют 0,7; 0,8; 0,9). Для сравнения в этой же таблице 2 приведены значения мощности потерь от короны, полученные авторами (результаты собственных исследований) экспериментально на протяжении длительного времени [3–6] на опытной ВЛ 500 кВ на высоте 3050 м над ур. м. на Высокогорной научно-исследовательской станции Тюз-Ашу.

Из данных таблицы 2 видно, что удельные потери мощности от короны, рассчитанные по формуле (9), и найденные путем пересчета по формулам (7), (8) и обобщенным характеристикам, хорошо совпадают с экспериментальными данными. Поэтому для обобщения экспериментальных данных по потерям мощности от короны для любых условий рекомендуется разработанная система координат (8), а расчет мощности потерь от короны как для горных, так и для равнинных ВЛ рекомендуется выполнять по формулам (9) и (10), либо по обобщенным характеристикам, приведенным на рисунке 4.

**Выводы.** Разработанная система координат позволяет обобщить весь экспериментальный материал по потерям мощности от короны, накопленный как в равнинных, так и в горных условиях с учетом относительной плотности воздуха и атмосферных осадков.

Обобщенные характеристики потерь мощности от короны в виде предложенной эмпирической формулы открывают широкие возможности для расчета потерь от короны на проводах ВЛ, проходящих на любых отметках над уровнем моря для различных метеорологических условий.

Поступила: 25.06.24; рецензирована: 09.07.24; принята: 11.07.24.

#### Литература

1. 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. М.: СЦНТИ, ОРГРЭС, 1975. 80 с.
2. Руководящие указания по учету потерь мощности на корону и помех от короны при выборе проводов воздушных линий электропередачи переменного тока 330–750 кВ и постоянного тока 800–1500 кВ. М., 2009. 78 с.

3. Дикамбаев Ш.Б. Оценка потерь мощности от коронного разряда на проводах горных воздушных линий сверхвысокого напряжения по обобщенным характеристикам / Ш.Б. Дикамбаев, Ю.П. Симаков // Вестник КРСУ. 2023. Т. 23. № 8. С. 9–16.
4. Дикамбаев Ш.Б. Исследование потерь мощности на корону на ВЛ переменного тока в условиях высокогорья // Ш.Б. Дикамбаев, И.О. Ордоков, В.Р. Шеленберг // Вопросы техники высоких напряжений горных линий электропередачи: сб. науч. тр. ЭНИН им. Кржижановского. М., 1984. С. 5–11.
5. Дикамбаев Ш.Б. Измерение потерь мощности на корону на опытных пролетах ВНИС Тюз-Ашу / Ш.Б. Дикамбаев // Тез. докл. I республ. научно-технич. конф. молодых ученых Киргизии. Секция: «Физ-тех. пробл. энергетики». Фрунзе, 1981. С. 65.
6. Исследования потерь мощности на корону на высокогорных линиях электропередачи переменного тока / Ш.Б. Дикамбаев, В.А. Костюшко, И.О. Ордоков, Н.П. Емельянов // Сб. науч. тр. ВНИИЭ. Исследования и испытания в электроустановках 750–1150 кВ. М.: Энергоатомиздат, 1990. С. 131–141.
7. Симаков Ю.П. Статистические характеристики потерь электроэнергии в электрических сетях 110–500 кВ энергосистемы Кыргызстана / Ю.П. Симаков, Ш.Б. Дикамбаев // Вестник КРСУ. 2022. Т. 22. № 8. С. 42–48.
8. Проведение исследований потерь электроэнергии в сетях напряжением 110–500 кВ Кыргызской энергосистемы с целью корректировки нормативных характеристик и разработки соответствующих нормативных документов / Исполнители: к.т.н. Ш.Б. Дикамбаев, к.т.н. Симаков Ю.П. и др. // Отчет по НИР НИИЭЭ при Минэнерго КР. Бишкек, 2022. 143 с.