

ТОРОСЯН А. С.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНИМОСТИ КРИТЕРИАЛЬНЫХ
 КООРДИНАТ ДЛЯ ОБОБЩЕНИЯ ДАННЫХ ПОТЕРЬ
 МОЩНОСТИ НА КОРОНУ

Обобщение данных потерь на корону значительно расширит возможность использования экспериментального материала для практических задач и даст возможность выявить основные закономерности изменения потерь на корону в зависимости от ряда факторов, в том числе геометрических и метеорологических. Для обобщения зависимостей потерь на корону был предложен ряд способов, однако наиболее широкое распространение нашли следующие системы критериальных координат [1, 2, 3]:

$$\frac{P}{U_0^2 f} = f_1 \left(\frac{U}{U_0} \right); \quad (1)$$

$$\frac{P_2}{U_0^2 \omega C^2} = f_2 \left(\frac{U}{U_0} \right); \quad (2)$$

$$\frac{P}{\kappa^2 r_0^2} = f_3 \left(\frac{E}{E_0} \right); \quad (3)$$

где P — потери мощности на корону, *квт/км*;

U — напряжение на проводе, *кв*; U_0 — начальное напряжение общей короны, *кв*; f — частота; ω — угловая частота; κ — диэлектрическая проницаемость воздуха; n — число составляющих проволов в фазе; r_0 — радиус провода, *см*; C — емкость провода *пф/км*; E — амплитудное значение средней напряженности поля у поверхности провода, *кв.м/см*; E_0 — начальная напряженность поля общей короны *кв.м/см*;

$$E = 0,0255 \frac{CU}{r_0^n}; \quad U_0 = 39,28 \frac{r_0^n E_0}{kC};$$

$$k = \frac{E_m}{E} = 1 + 2(n-1) \frac{r_0}{d} \sin \frac{\pi}{n}.$$

Здесь d — шаг расщепления, *см*;

E_m — амплитудное значение максимальной напряженности электрического поля у поверхности провода, *кв.м/см*.

Уравнение (2) применялось для обобщения величины потерь мощности на корону на одиночных проводах. Для расщепленных проводов уравнение (2) записано в виде [2]:

$$\frac{P_{лз}}{U_0^2 \omega C^2} = f_4 \left(\frac{U}{U_0} \right). \quad (4)$$

В дальнейшем нами будет использовано только уравнение (4), так как уравнение (2) является частным случаем. В уравнениях (3) и (4) начальная напряженность поля определяется по формуле Пика [4], а в уравнении (1) по формуле Залетского А. [5]. На основании уравнений (2) и (4) и, в особенности, уравнений (1) и (3) был обобщен значительный экспериментальный материал [5].

Однако накопленный экспериментальный материал, а также результаты обобщения не могут быть эффективно использованы в части выявления закономерностей потерь на корону, так как неодинаковые условия производства экспериментов, и состояние проводов приводит к значительному разбросу данных, в результате чего обнаружение влияния отдельных факторов затрудняется. Это видно хотя бы из того, что обобщение опытного материала по потерям на корону с помощью уравнений (1), (3) привело к одинаковой степени схождения данных [5], несмотря на различие в этих уравнениях.

Для удобства сравнения выразим уравнения (1), (3) и (4) через P , r_0 , n , E , E_m , k и C не рассматривая ω , f , ω и др., постоянные в данном случае, величины, что, естественно, не будет иметь влияния на результаты сравнения. Взамен уравнений (1) и (4) будем иметь соответственно:

$$\frac{Pk^2C^2}{E_0^2 n^2 r_0^2} = f_5 \left(\frac{E_m}{E} \right) \quad (5)$$

$$\frac{Pk^2}{E_0^2 n r_0^2} = f_6 \left(\frac{E_m}{E} \right). \quad (6)$$

Уравнения (3), (5) и (6) отличаются друг от друга неодинаковым учетом емкости провода C , коэффициента k , числа составляющих проводов в фазе n и аргументами функций в части средней E и максимальной E_m напряженности поля.

С целью определения влияния емкости C , шага расщепления d , числа составляющих проводов в фазе n , а также коэффициента k потери мощности на корону, на опытном пролете Армянского филиала ВНИИЭМ длиной 50 м в Норке была создана возможность изменения высоты подвеса проводов и расстояния между ними в больших пределах. Передвижение проводов было механизировано. Для выявления влияния одного какого-либо фактора опыты проводились в таких условиях, когда все остальные факторы были практически неизменными. Наиболее важным вопросом в указанных исследованиях является одинаковое состояние поверхности проводов и метеорологических условий. С этой целью в экспериментах использовались гренированные прово-

да АСУ—300, находящиеся более одного года в подвешенном состоянии на опытном пролете. Продолжительность цикла сравниваемых экспериментов не выходила за пределы 1—2 часов, в течение которого состояние поверхности тренированного провода и метеорологические условия не изменялись. Метеорологические условия контролировались в течение всего цикла измерений, в стабильное состояние поверхности провода проверялось путем сопоставления данных потерь на корону, полученных при измерениях в начале и в конце цикла эксперимента при равных условиях.

Рассмотрим случай, когда изменяются только емкости одиночного провода относительно земли. При этом имеем $E_2 = \text{const}$, $r_0 = \text{const}$, $k=1$, $n=1$, $E = E_m$, и при сравнении данных взамен уравнения (5) целесообразно использовать уравнение

$$PC^2 = f_1(E), \quad (7)$$

а взамен уравнений (3) и (6)—уравнение

$$P = f_2(E). \quad (8)$$

Изменение емкости провода при экспериментах достигалось путем изменения высоты его подвеса. Для предотвращения влияния „краевого эффекта“ на учет изменения емкости, участки провода длиной 5,5 м у начальной опоры и 3,5 м у конечной опоры были экранированы. Потенциал к конечному экрану подавался по дополнительному проводу полностью идентичному с измерительным проводом и находящемуся на одной высоте с ним и на расстоянии 6,5 м от него. Высота подвеса обоих проводов изменялась одновременно путем спуска и подъема траверса. При этом достигалось изменение средней высоты подвеса провода от 3 до 6,5 м.

На рис. 16 приведены данные экспериментов обобщенные в системах координат (7) и (8). Каждая точка на кривой соответствует среднему значению из 3—5 измерений. Данные, обобщенные в координатах $P = f_2(E)$, практически ложатся на одну кривую, а при обобщении в координатах $PC^2 = f_1(E)$ уменьшение высоты подвеса провода, т. е. увеличение емкости, приводит к росту ординат точек. Разница между ординатами кривых при одинаковом E практически соответствует изменению множителя C^2 в левой части уравнения (7).

Необходимо отметить, что ранее автором были проведены аналогичные опыты на не тренированном проводе АСУ—300, экранированном только со стороны начальной опоры. При этом средняя высота подвеса провода изменялась в пределах 2—7,5 м. Результаты этой серии опытов (рис. 1а) качественно подтверждают результаты вышесказанной серии, т. е. при изменении геометрического положения провода учет влияния емкости провода на потери мощности на корону производится только путем соответственного изменения значения напряженности электрического поля на поверхности провода.

Важным вопросом при обобщении данных потерь на корону является способ учета изменения шага расщепления. В этом случае в

уравнениях (3), (5) и (6) изменяются величины C и k и остаются постоянными n , r_0 , E_0 . При этом уравнения (5) и (6) могут быть соответственно записаны в следующем виде:

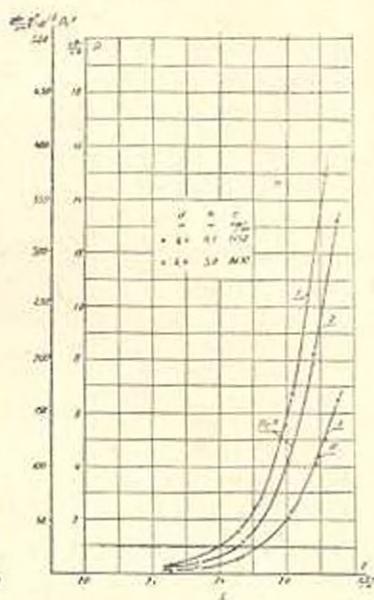
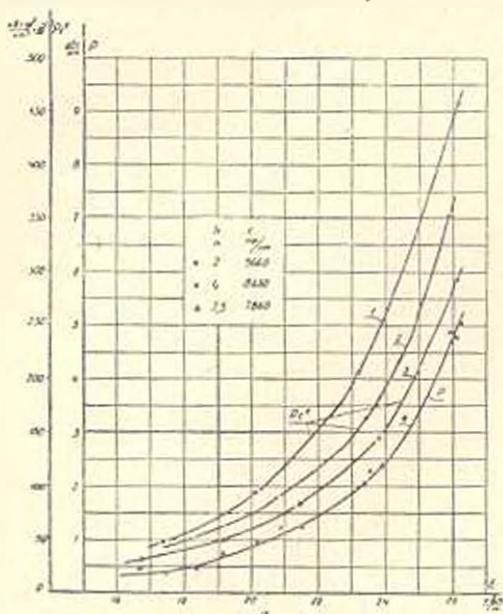


Рис. 1. Характеристики потерь мощности на корону провода АСУ—300 при различных значениях повеса провода h а — не тренированный провод, кривые 1, 2, 3 — $PC^2 = f(E)$, кривая 4 — $P = f(E)$, б — тренированный провод, кривые 1, 2 — $PC^2 = f(E)$, кривая 3 — $P = f(E)$.

$$P^2 k^2 C^2 = f_8(E_m); \quad (9)$$

$$P^2 k^2 = f_{10}(E_m). \quad (10)$$

В рассматриваемом случае взамен уравнения (3) надо пользоваться уравнением (8).

Изменение шага расщепления d в пределах от 0,3 до 0,9 м производилось между двумя одинаковыми проводами АСУ—300 экранированными с обоих концов, как было описано выше. Измерения производились на одном проводе. Другой провод связывал экраны опытного пролета и имел практически такой же потенциал, что и первый. Предварительно, путем переключений схемы и измерений, было установлено, что потери на обоих проводах практически одинаковы. На рис. 2а, б приведены результаты экспериментов пересчитанные в обобщенных координатах (8), (9) и (10) для $d=0,3; 0,4; 0,6$ и $0,9$ м. Данные P отнесены к одному проводу.

Соответствующие данные среднеквадратичных разбросов обобщенных данных приведены в табл. 1.

Как видно из рис. 2а и таблицы 1 при применении формул (9) и (10) обобщение данных потерь на корону при разных значениях шага расщепления дает хорошие результаты. При применении формулы (8) и, следовательно, — (3), ординаты кривых, отнесенные к различным

значениям шага расщепления d , закономерно увеличиваются при уменьшении d . Влияние изменения величины множителей $k^2 C^2$ и k^2 в левых частях уравнений (9) и (10) в данном случае сравнительно небольшое и поэтому основную разницу в результатах обобщения следует

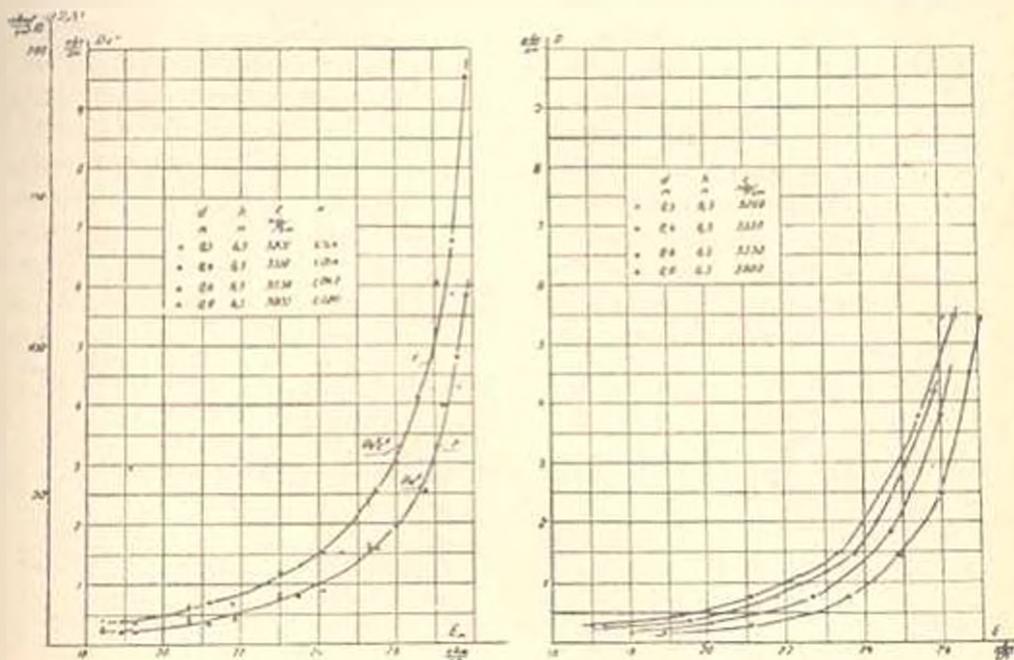


Рис. 2. Характеристики потерь мощности на корону провода АСУ—300 при различных значениях шага расщепления. а — кривая 1 $PK^2C^2 = f(E_m)$, кривая 2 — $PK^2 = f(E_m)$, б — кривая $P = f(E)$.

относительно к изменению аргумента функции. Для функции (9) и (10) аргументом являются максимальная напряженность на поверхности провода (E_m), а для функции (8) средняя напряженность поля E . Та-

Таблица 1

Напряженность поля E (кв.см)	Среднеквадратичные отклонения от среднеарифметических величин данных f . Обобщения произведены по формулам:		
	$PK^2C^2 = f_0(E_m)$	$PK^2 = f_{10}(E_m)$	$P = f_0(E)$
20	13	16	30
22	7	12	28
24	3	6	23
25	4	6	20

ким образом, при обобщении данных потерь на корону для расщепленных проводов в качестве аргумента функции потерь необходимо принимать величину максимального градиента на поверхности провода.

Автором рассматривалась так же возможность обобщения данных потерь мощности на корону для одиночных и расщепленных проводов в координатах (1), (2) и (4). В этом случае целесообразно сопоставить характеристики потерь для одиночного и одного из составляющих расщепленного провода. Это осуществлялось экспериментально путем увеличения расстояния между проводами d в предыдущих опытах до величины, когда можно принять, что каждый провод коронирует самостоятельно и по периметру провода напряженность поля имеет практически постоянную величину, т. е. $k=1$.

Конструкция опытного пролета позволяет расстояние d довести до 6,4 м при высоте подвеса провода $h=6,5$ м. Для дальнейшего уменьшения влияния проводов друг на друга можно было уменьшить высоту подвеса провода h . Однако, как было показано выше, относительные линейные потери мощности на корону для высоты 3,0 и 6,5 м координатах (1) и (4) совпадают. По видимому можно считать, что условия коронирования провода при $d=6,4$ м ($k=1,0033$) соответствуют условиям одиночного провода.

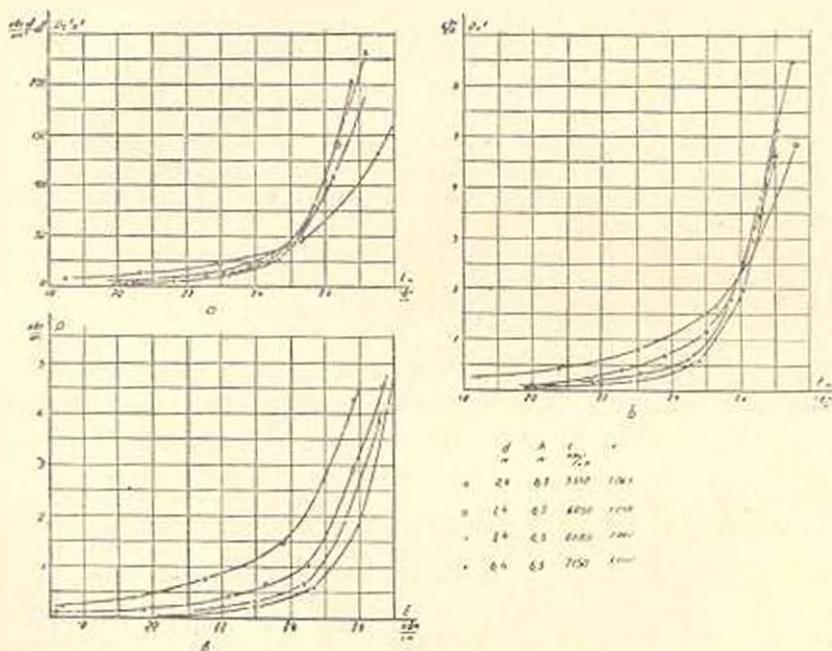


Рис. 3. Характеристики потерь мощности на корону провода АСУ—300 при различных значениях расстояний между проводами. а — $PK^2 = f(E_m)$, б — $PK^2 = f(E_m)$, в — $P = f(E)$.

На рис. 3 приведены характеристики потерь на корону одного провода АСУ—300 при d равном 0,4; 1,4; 3,4 и 6,4 м обобщенные в координатах (8), (9) и (10). На кривых, приведенных на рис. 3 видно, что с увеличением крутизна d характеристик потерь растет. Составляющая расщепленного провода ($d=0,4$ м) имеет намного пологую характеристику потерь, чем одиночный провод. Характеристики, по-

строенные в зависимости от E_m (рис 3) пересекаются, а при построении в зависимости от E приближаются друг к другу только при больших значениях E . Это указывает на то, что координаты (1), (3) и (4) не дают возможности обобщения потерь мощности из корону на одиночных и расщепленных проводах путем простого деления левой части уравнений на n или n^2 . Для примера рассмотрим данные потерь при $d=6,4$ м и $d=0,4$ м. Первое положение, как указывалось выше, можно рассматривать как одиночный провод АСУ—300 ($n=1$), а второе—как расщепленный провод $2 \times$ АСУ—300/40 ($n=2$) (при удвоении величины потерь, измеренных на одном проводе). Уравнения (1), (3) и (4) для обобщения данных одиночного и расщепленного проводов при $r=\text{const}$ и $E_0=\text{const}$ могут быть записаны соответственно в виде

$$\frac{PK^2C^2}{n^2} = f_{11}(E_m) \quad (11)$$

$$\frac{P}{n^2} = f_{12}(E) \quad (12)$$

$$\frac{PK^2}{n} = f_{21}(E_m) \quad (13)$$

Характеристики потерь на корону для проводов АСУ—300 и $2 \times$ АСУ—300/40 в указанных координатах приведены на рис. 4.

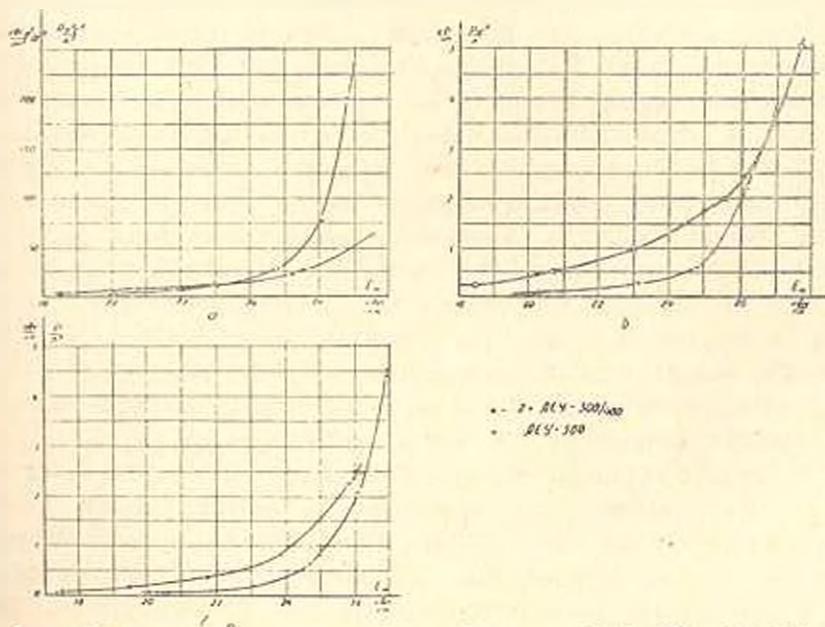


Рис. 4. Характеристики потерь на корону проводов АСУ—300 и $2 \times$ АСУ—300/400

$$a - \frac{PK^2C^2}{n^2} = f(E_m); \quad б - \frac{PK^2}{n} = f(E_m); \quad в - \frac{P}{n^2} = f(E).$$

Разница между ординатами кривых доходит до сотен процентов. Например для данных приведенных на рис. 4а отношение приведен-

ных величин потерь для одиночного и расщепленного проводов при $E=21$ квм/см равно 0,5, при $E=23$ квм/см—2,0, при $E=26$ квм/см равно 2,6 и при $E=27$ квм/см—3,6 м и т. д. Совпадение величин приведенных потерь имеет место при $E=23,2$ квм/см. Примерно такое же расхождение приведенных величин имеет место и для данных приведенных на рис. 45, в. Эти расхождения указывают на то, что даже для случая одиночного провода и провода с двойным расщеплением данные потерь не могут быть обобщены рассматриваемыми зависимостями. Поэтому при данной стадии изученности вопроса, по-видимому, целесообразно обобщение данных потерь на корону производить отдельно для одиночных и расщепленных проводов, как это принято в [2].

Однако и в этом случае следует воздержаться от обобщения данных потерь мощности на корону для расщепленных проводов с различным числом расщеплений в фазе до проверки этой возможности экспериментами, аналогичными предпринятым.

На основании рассмотрения применимости критериальных координат для обобщения данных потерь мощности на корону в области местной короны, полученных при различных геометрических параметрах системы можно прийти к следующим выводам:

1. При изменении емкости провода относительно „земли“ путем изменения высоты подвеса провода обобщение данных потерь на корону следует производить по правилу „равные потери при равных напряженностях поля“. Критериальные координаты (1) не удовлетворяют этому правилу и поэтому не могут быть применены для обобщения данных потерь на корону для проводов с различной емкостью.

2. С изменением степени непостоянства величины напряженности поля по параметру провода наблюдается изменение крутизны характеристик потерь мощности на корону. Однако, в области практически встречающихся величин шага расщепления, характеристики потерь на корону с достаточной точностью могут быть обобщены при применении в качестве аргумента обобщающей функции максимальной величины напряженности поля. В этом отношении формула (3) не может быть применена, так как в качестве аргумента использовано среднее значение напряженности поля.

3. Имеется существенная разница между крутизнами характеристик потерь на корону для одиночного и расщепленного проводов. Вследствие этого ни одна из рассматриваемых систем координат (1), (3) и (4) не позволяет обобщать одной зависимостью величины потерь на одиночных и на расщепленных проводах. Таким образом, рассматриваемые критериальные координаты не универсальны и их применимость в области местной короны ограничена. Сомнительна также возможность универсального применения указанных систем координат в области общей короны, так как с увеличением напряженности поля расхождение между кривыми, полученными в различных условиях опытов в большинстве случаев растет.

Расхождение результатов опытов при обобщениях, по-видимому, можно объяснить несоблюдением в критериальных соотношениях всех критериев подобия [1, 2].

Армянский филиал
ВНИИЭМ

Поступило 5. VIII 1963.

Ա. Ս. ԹՈՐՈՅԱՆ

ՊԱՍԿԻ ԿՈՐՐԻՍՏԵՆՆԵՐԻ ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ԿՐԻՏԵՐԻԱԿ
ԿՈՐՐԵԿՏԱՑՈՒՄԻ ԱՆՍԵՏԻՄԵՆՏԻ ՍԳՏԱԿՈՐԾԵԼՈՒ ՀԱՐՑԻ ԴԱՌԻՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

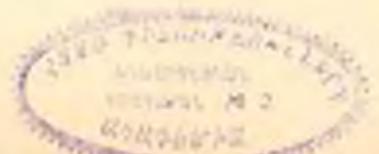
Բարձր լարման ցանցերի կառուցման ժամանակ պասկի կորուստների ուսումնասիրության հարցը ինչպես ՄՍՌՄ-ում, այնպես էլ արտասահմանում ամենակարևոր հարցերից մեկն է:

Այժմ փորձնական հետազոտությունների շնորհիվ փոփոխական հոսանքի պասկի կորուստների վերաբերյալ բաղմաթիվ ավյալներ են հավաքված, որոնց էֆեկտիվ օգտագործման համար անհրաժեշտ է նրանց ընդհանրացումը: Այդ ընդհանրացումը թույլ կտա նաև ուսումնասիրելու պասկի կորուստների կապը մի շարք երկրաչափական, սղերնոլոգիական և այլ գործոնների հետ:

Պասկի հետազոտությունների ընդհանրացման համար մինչև այժմ առաջարկված են եղել մի շարք մեթոդներ, որոնցից յայն կիրառում են գաեկ կրիտերիալ սխեմաները: Սակայն այդ սխեմաների օգտագործման սկզբունքը փորձնականապես չի ստուգվել:

Տվյալ հոդվածում ուսումնասիրվում է այդ սխեմաների կիրառման հնարավորությունը երկրաչափական մի շարք գործոնների փոփոխության դեպքում, ինչպեսին են՝ փորձարկվող հաղորդալարի երկրաչափական ունակությունը դետնի նկատմամբ, տրոհված հաղորդալարի քայլի մեծությունը և այլն:

Փորձնական հետազոտությունները պարզեցին յուրաքանչյուր կոսրպինատային սխեմայի օգտագործման հնարավորությունը այս կամ այն երկրաչափական գործոնի փոփոխության դեպքում, որոնք ցույց տվեցին, որ առաջարկված և ոչ մի կոորդինատային սխեմա ընդհանուր դեպքում չի բավարարում պասկի կորուստների ընդհանրացման պայմաններին: Սակայն կրիտերիալ կոորդինատային սխեմաները կարող են մասնակի կիրառում ունենալ որոշ սահմաններում, այս կամ այն վերահիշյալ գործոնների փոփոխության դեպքում: Կրիտերիալ կոորդինատային սխեմաներից և ոչ մեկը հնարավորություն չի տալիս ընդհանրացնելու պասկի կորուստների մեծության հաշվարկումը միայնակ հաղորդալարերից տրոհվածին անցնելու դեպքում:



Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Егорова Л. В., Тиходеев Н. Н.* Обобщение опытных данных о потерях на корону, полученных на линиях 380-450 кв. КТФ. XXVIII, 1955.
2. *Левитов В. И.* Некоторые особенности короны на проводах высокогорных линиях электропередачи. Сборник «Проблемы высокогорной электромеханики», г. Фрунзе, 1961.
3. *Burgsdorf L. W., Egorova L. V., Hertzik H. P., Levitov V. J., Popkov V. J., Vaskresenski N. A., Investigation A. S. Corona in Soviet Union.* CIGRE, 1952. Информационный доклад советской делегации.
4. Руководящие указания по определению среднегодовых потерь на корону для ЛЭП 330-750 кв. Госэнергоиздат, 1961.
5. *Егорова Л. Е., Кислова Н. С., Тиходеев Н. Н.* Обобщение результатов измерения потерь на корону при переменном напряжении. Известия НИИЭТ № 8, 1961.