

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Р. А. ГРДЗЕЛЯН, А. М. ЕСАЯН, М. М. КАРАПЕТЯН, Н. П. СТЕПАНЯН,  
А. С. ТОРОСЯН

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕРЬ  
МОЩНОСТИ НА КОРОНУ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА  
В ВЫСОКОГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Развитие электроэнергетических систем и сетей высокого напряжения в высокогорных районах выдвигает ряд вопросов, требующих специального изучения и исследования. Одним из основных среди них является вопрос о потерях мощности и энергии на корону на проводах высоковольтных линий электропередач, которые в условиях горных районов существенно превышают потери в низменных районах, в основном вследствие пониженной плотности воздуха (6).

Исследованием короны в высокогорных условиях занимались за границей на лабораторных установках, и в естественных условиях на опытных пролетах [1, 2].

Однако на основании опубликованных результатов этих исследований не представляется возможным сделать какие-либо количественные выводы о влиянии метеорологических условий горных районов на потери мощности на корону.

В СССР вопрос исследования короны в высокогорных условиях стал актуальным в связи с сооружением в Армении линий электропередач напряжением 110 кВ, и в особенности 220 кВ, проходящих на отметках более 2000 метров над уровнем моря (н. у. м.).

Лаборатория электротехники АН Армянской ССР, начиная с 1955 года, занимается исследованием потерь мощности на корону на опытных установках, находящихся в естественных метеорологических условиях на отметках 1100 м и 2000 м н. у. м. [3].

В статье приведены некоторые результаты исследований, проведенных на опытной установке\* на отметке 2000 м н. у. м., применительно к высокогорной линии электропередачи напряжением 220 кВ с проводами АСУ-300.

Измерение потерь мощности на корону на опытной установке с длиной провода 160 м производились систематически дежурным персоналом, начиная с конца 1956 г. Одновременно с указанными измерениями производились необходимые метеорологические наблюдения.

\* В работах по наладке установки и измерениям на ней участвовала Центральная лаборатория энергетического управления СНХ Армянской ССР.

Полученный экспериментальный материал практически охватывает весь спектр погод, представляющий интерес с точки зрения оценки величины потерь электроэнергии на корону в горных районах, а именно: хорошая погода (ясная и облачная), дождь, изморозь и иней, мокрый снег, сухой снег и туман.

Потери мощности на корону ( $P$ ) для целей сравнения их величин на проводе одного и того же диаметра в различных метеорологических условиях удобно приводить в зависимости от электростатического градиента на поверхности провода  $E^*$ .

Данные измерений при хорошей погоде весьма многочисленны и охватывают достаточно широкий диапазон изменения относительной плотности воздуха ( $\delta$ )\*\*. На рис. 1 приведены некоторые зависимости  $P = f(E)$  для провода АСУ-300 при хорошей погоде в диапазоне изменения  $\delta$  в пределах 0,80—0,91. Эти зависимости получены на основании индивидуальных характеристик, причем средне-квадратичные отклонения от средне-арифметических величин не превышают 15%.

Наибольший практический интерес представляют величины потерь мощности на корону при значениях градиентов, соответствующих номинальному напряжению линий электропередач (рабочие градиенты). Для ЛЭП 220 кВ с проводами АСУ-300 рабочий градиент составляет около 23  $\frac{\text{кВ макс.}}{\text{см}}$ .

Величины потерь мощности на корону при указанном значении градиента для различных плотностей воздуха приведены в табл. 1.

Полученные данные о потерях мощности на корону при дождях разных интенсивностей охватывают небольшой диапазон изменения относительной плотности воздуха в пределах  $\delta = 0,81—0,83$ . Это является естественным, так как дождь имеет место при определенном сочетании метеорологических факторов. Вследствие малого изменения  $\delta$ , сравнение ведется только по интенсивности дождя.

Следует отметить, что измерения при дожде многочисленны, однако, вследствие изменения интенсивности дождя в процессе измерений, многие из них пока не рассмотрены.

\* Под электростатическим градиентом понимается величина электростатического градиента, которая была бы на поверхности провода при отсутствии короны.

$$E = U \frac{\sqrt{2C}}{2\pi\epsilon_0 r}$$

(для одиночных проводов),

где  $E$  —  $\frac{\text{кВ м}}{\text{см}}$ ;  $U$  — кВ эфф. — напряжение на проводе;  $r$  — радиус провода;  $C$  — емкость провода на единицу длины.

\*\*

$$\delta = \frac{1,286P^2}{273 + t}$$

где  $P$  — давление воздуха в мм рт. столба;  $t$  — температура воздуха в °С.

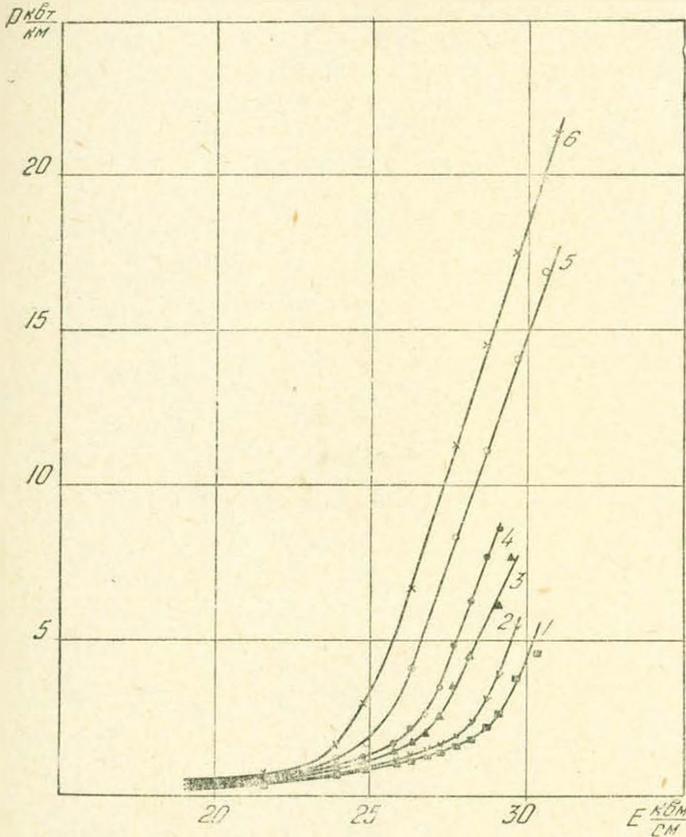


Рис. 1. Зависимости  $P = f(E)$  при хорошей погоде. Провод АСУ-300.

- 1 —  $\delta = 0,901-0,910$ ; 2 —  $\delta = 0,881-0,890$ ;  
 3 —  $\delta = 0,861-0,870$ ; 4 —  $\delta = 0,841-0,850$ ;  
 5 —  $\delta = 0,821-0,830$ ; 6 —  $\delta = 0,801-0,810$ .

Таблица 1

Относительная плотность воздуха $\delta$	0,90	0,87	0,83	0,80
Потери мощности на корону на один провод $P$ квт/км на фазу	0,65	0,77	1,00	1,30
Высота н. у. м., где имеют место данные средние значения $\delta$	1200	1550	2000	2350

На рис. 2, приведены зависимости  $P = f(E)$  при различных интенсивностях дождя.

Как видно из рис. 2, даже дождь, интенсивностью находящейся ниже предела измерения, приводит к резкому увеличению потерь по сравнению с хорошей погодой. Степень влияния дождя на величину потерь мощности на корону зависит от градиента на поверхности провода. При этом относительное увеличение потерь в условиях дождя тем меньше, чем больше электростатический градиент на поверхности провода.

С увеличением интенсивности дождя потери мощности на корону сначала быстро растут до интенсивностей порядка  $0,01 \div 0,02$  мм/мин, после которых этот рост существенно уменьшается.

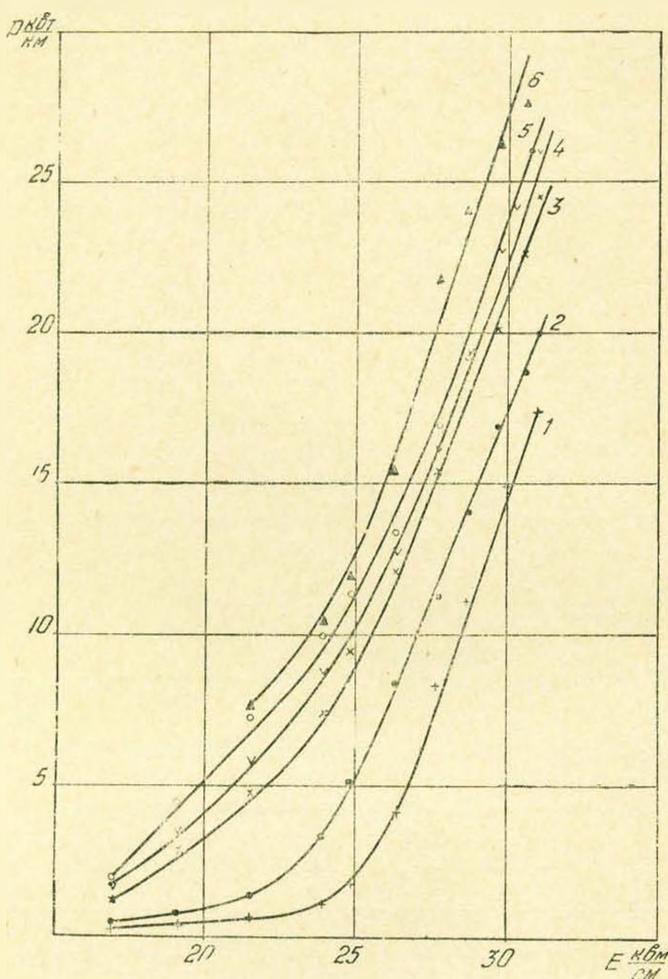


Рис. 2. Зависимости  $P = f(E)$  при различных интенсивностях дождя и при хорошей погоде. Провод АСУ-300.

1 — хорошая погода,  $\delta = 0,821 - 0,830$ ;

Дождь: 2 —  $I = 0,00 - 0,005$  мм/мин; 3 —  $I = 0,005 - 0,01$  мм/мин;

4 —  $I = 0,01 - 0,06$  мм/мин; 5 —  $I = 0,06 - 0,1$  мм/мин;

и 6 —  $I =$  выше  $0,1$  мм/мин.

Это наглядно видно на рис. 3, где приведены зависимости потерь мощности на корону от интенсивности дождя  $P = f(I)$  при определенных значениях  $E$ .

Влияние уменьшения  $\delta$  на потери мощности на корону примерно такое же, как и увеличение  $E$ . На этом основаны методы пересчета потерь по  $\delta$ , хотя и эти методы нельзя считать достаточно обоснованными. Исходя из вышеуказанного, при рассмотрении зависимостей, приведенных на рис. 1 и 2, в пределах, близких к рабочему градиен-

ту проводов ЛЭП 220 кв ( $\sim 23,0$  кв.м/см), изменение  $E$  на 20%, приводит к значительно большему изменению потерь при хорошей погоде, чем при дожде. Это является следствием того, что в рассматриваемом пределе  $E$  крутизна характеристики потерь при дожде меньше, а абсолютная величина ее больше, чем у характеристики хорошей погоды.

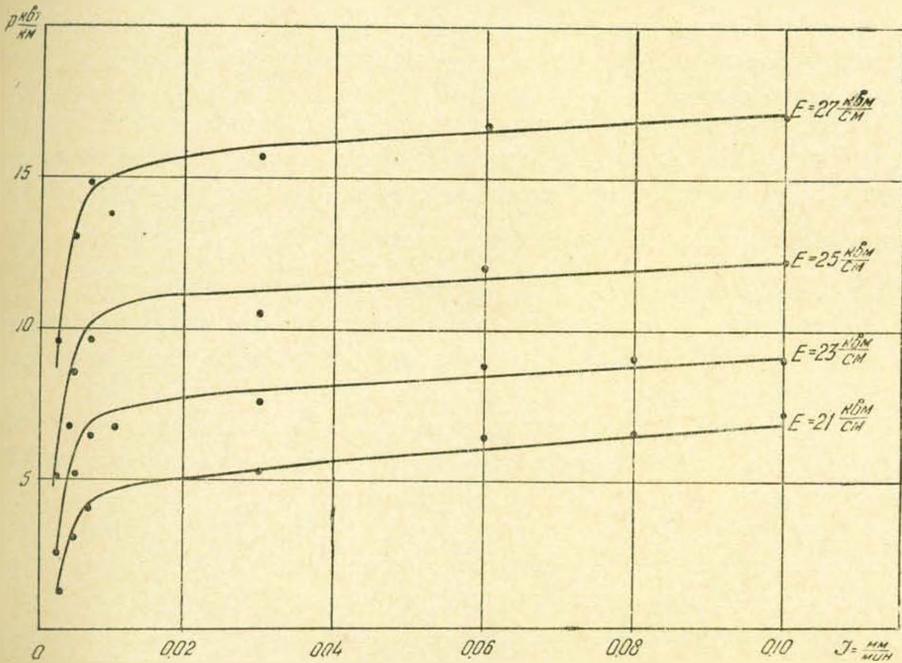


Рис. 3. Зависимости  $P = f(I)$  при определенных значениях  $E$ . Провод АСУ-300.

Не вдаваясь в анализ методов пересчета, так как это в статье не представляется возможным, можно лишь отметить качественное влияние  $\delta$  на величину потерь мощности на корону.

Таким образом, в наших условиях, влияние высотности на величину потерь мощности на корону при хорошей погоде значительно больше, чем при дожде. Это относится также и к другим группам плохой погоды, при которых имеют место большие потери на корону. Отсюда следует, что в высокогорных районах, примерно одинаковом с низменными районами соотношении числа часов в году хорошей и плохой погоды, а также конструкции ЛЭП, кроме резкого увеличения потерь электроэнергии на корону, увеличится также удельный вес потерь при хорошей погоде и может составить основную часть общегодовых потерь электроэнергии на корону, в то время как известно, что в низменных районах имеет место обратная картина [3].

Следует указать также, что независимо от изменения величины плотности воздуха при повышении рабочих градиентов ЛЭП большой удельный вес в общегодовых потерях электроэнергии на корону будут приобретать потери при хорошей погоде.

На рис. 4 приводятся средние зависимости потерь мощности на корону при мокром и сухом снеге, изморози, инее и тумане. Каждая из характеристик получена на основании многочисленных измерений. При каждой из указанных погод относительная плотность воздуха так же, как и при дожде, изменяется в небольших пределах. Это дает возможность получения средней характеристики потерь, отнесенной к средним  $\bar{\sigma}$  при данной погоде. Следует указать, что пока не является возможным ввести дифференциацию потерь по степени выраженности данной погоды (интенсивность снега, видимость тумана и т. п.), и поэтому приведенные характеристики нужно рассматривать как средние.

Мокрый снег приводит к достаточно высоким потерям, сравнимым с потерями при дожде средней интенсивности (0,01 мм/мин). При сухом снеге имеют место меньшие потери, чем при мокром, однако эти потери в диапазоне рабочего градиента  $23,0 \frac{\text{квм}}{\text{см}}$  приводят к потерям, превышающим в 1,8 раза потери при хорошей погоде.

Появление инея на проводе вызывает потери, превышающие потери при дожде большой интенсивности. Максимальные потери мощности на корону имеют место при изморози.

По данным наших исследований туман не оказывает существенного влияния на величину потерь по сравнению с потерями при хорошей погоде.

Таким образом, полученные характеристики потерь мощности на корону охватывают весь диапазон изменения погод высокогорных районов, находящихся на отметках порядка 2000 м н. у. м.

Полученные характеристики могут быть использованы для определения годовых потерь мощности и электроэнергии на корону для ЛЭП с проводами АСУ-300, проходящих на отметках, близких к 2000 м н. у. м.

Для наглядности в табл. 2 приведены средние и максимальные величины потерь мощности на корону на 1 км трехфазной ЛЭП при различных условиях погоды на высоте 2000 м н. у. м. при напряжениях 240 и 220 кв.

Таблица 2

Средние и максимальные потери мощности на корону на 3 фазы при различных группах погоды на ЛЭП 220 кв с проводами АСУ-300 на высоте 2000 м над уровнем моря при различных напряжениях

Напряжение $U$ кв	Мощность	Хорошая погода	Потери мощности $P$ квт/км								
			Дождь, интенсивность в мм/мин				туман	иней и изморозь	сухой снег	мокрый снег	
			0,000—0,005	0,005—0,01	0,01—0,05	0,05—0,1 выше 0,1					
240	0,830 средн.	3,6	13,7	25,8	28,6	31,5	34,2	4,0	40,5	7,7	28,4
	0,765 макс.	7,5	20,0	31,3	33,2	36,4	39,3	7,5	—	—	—
220	0,830 средн.	2,2	6,8	17,3	20,4	22,9	25,4	2,3	28,2	3,8	18,3
	0,765 макс.	2,8	10,7	20,8	23,2	25,4	27,8	3,0	—	—	—

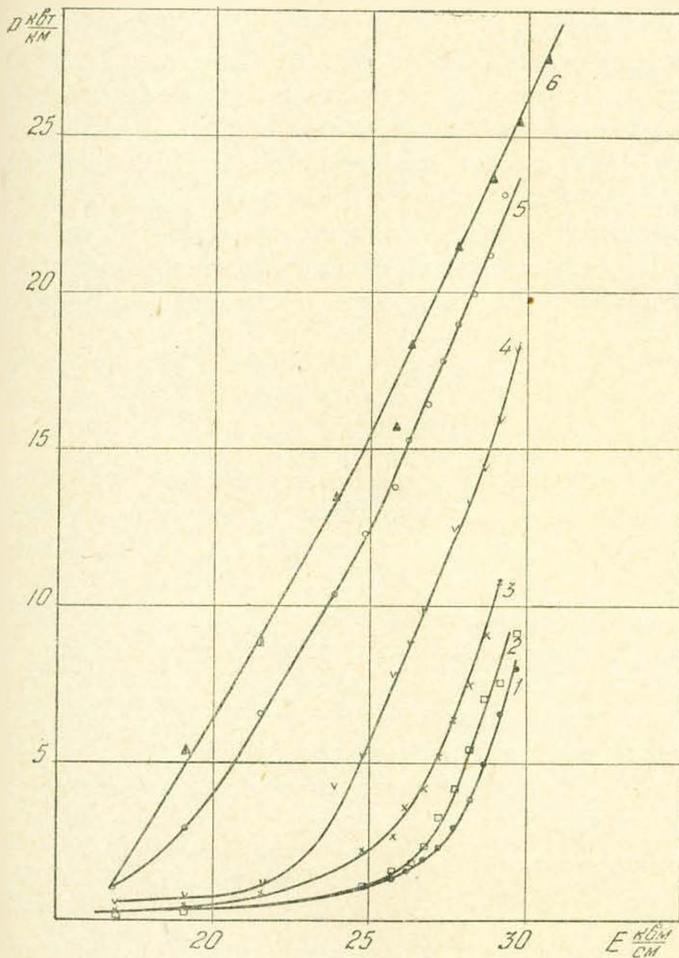


Рис. 4. Зависимости  $P = f(E)$  при сухом и мокром снеге, тумане, инее, изморози и хорошей погоде. Провод АСУ-300.

- 1—Хорошая погода,  $\delta = 0,866$ ; 2—туман,  $\delta = 0,856$ ;  
 3—сухой снег; 4—мокрый снег;  
 5—иней; 6—изморозь.

В настоящей статье не рассматриваются возможности пересчета зависимостей  $P = f(E)$  на другие высоты  $n$  у. м. и марки проводов, однако, при уточнении и проверке методики такого пересчета приведенные выше характеристики могут иметь более широкий диапазон применения.

Результаты исследований потерь мощности на корону в высокогорных районах при таком широком диапазоне изменения погоды, насколько известно, публикуются впервые и основаны на результатах предварительных исследований. В дальнейшем, при накоплении фактического материала, эти характеристики будут уточнены.

Весьма значительные потери мощности на корону при инее и изморози могут привести к большому удельному весу потерь электро-

энергии на корону в годовом разрезе, несмотря на их небольшую продолжительность.

Исследования потерь на корону обычно проводятся на опытных пролетах без протекания по ним рабочего тока, то есть на холодных проводах, и поэтому можно предположить, что величина потерь, полученная при этом условии может быть завышена, так как процессы образования инея и изморози и др. на этих опытных пролетах несколько отличны от таковых на реальной линии. С этой точки зрения необходимо пересмотреть методику исследований и проводить их на опытных пролетах с проводами, нагреваемыми рабочим током.

### В ы в о д ы

1. На основании проведенных исследований получены данные потерь мощности на корону для линий электропередач 220 кВ с проводами АСУ-300 в высокогорных условиях, для всего диапазона изменения погоды.

2. В отличие от низменных районов, потери электроэнергии при хорошей погоде в высокогорных районах составят большую долю годовых потерь электроэнергии на корону.

По результатам проведенных исследований становится возможным уточнение методик пересчета потерь на корону и определение годовых потерь электроэнергии на корону на линиях электропередач, проходящих по высокогорным районам.

Лаборатория электротехники  
АН Армянской ССР

Поступило 20 X 1953

Ռ. Ա. ԳՐԶԵԼՅԱՆ, Ս. Մ. ԵՍԱՅԱՆ, Մ. Մ. ԿՈՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ն. Պ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ,  
Ա. Ս. ԹՈՐՈՍՅԱՆ

ԲԱՐՁՈՒՆՔԱՅԻՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ՊՍԱԿԻ  
ՀՉՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՌԻՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ՈՐՈՇ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐ

### Ա մ փ ո ւ փ ու լ մ

Բարձունքային պայմաններում բարձր լարման էլեկտրահաղորդման ցանցերի ու սիստեմների զարգացումը պահանջում է տնկնալ սովորյալ հաղորդման գծերի վրա պսակի երևույթից առաջացած տարեկան կորուստների մեծություն մասին: Այդ նպատակով բնական մետեորոլոգիական պայմաններում ծովի մակերևույթից 1100 մ և 2000 մ բարձրությունների վրա զամբողջ սարավորումների միջոցով կատարվել են հետազոտություններ:

Հոդվածում բերված են այդ հետազոտությունների որոշ արդյունքները, որոնք կիրառելի են բարձունքային պայմաններում անցնող 220 կՎ բարձր լարման էլեկտրահաղորդման գծերի համար АСУ-300 հաղորդալարի դեպքում:

Նևտազոտությունները կատարվել են բարձունքային մետերոլոգիական պայմաններում, որի հիմնական առանձնահատկությունը՝ օդի ցածր հարաբերական խտությունն է:

Ստացված արդյունքները ընդգրկում են պսակի էլեկտրական հզորության կորուստների մեծությունները մթնոլորտային տարբեր պայմաններում՝ «լավ» եղանակ, անձրև, ձյուն, եղյամ, մառախուղ և այլն: Այդ արդյունքները պրակտիկ հետաքրքրություն են ներկայացնում էլեկտրական պսակի էներգիայի կորուստների ուսումնասիրության և հաշվարկման հարցերում:

«Լավ» եղանակի ժամանակ, օդի տարբեր հարաբերական խտության (ծ) դեպքում, АСУ — 300 հազորդալարի համար պսակի հզորության կորուստները բերված են նկ. 1: Յուրաքանչյուր կոր իրենից ներկայացնում է մի շարք կորերի միջինը ավյալ 6 խմբի համար:

Բարձր լարման էլեկտրահզորման գծերի նախազմման ժամանակ մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում նրա բանվորական լարմանը համապատասխանող պսակի հզորության կորուստների մեծությունը (բերված է աղյուսակ 1):

Ի տարբերություն ցածրագիր շրջանների, բարձունքային պայմաններում էլեկտրահզորագիայի կորուստները «լավ» եղանակի ժամանակ կազմում են տարեկան կորուստների մեծ մասը:

Պսակի կորուստների մեծությունը տարբեր է «վատ» եղանակի տարբեր պայմաններում՝ անձրև, ձյուն, եղյամ, մառախուղ և այլն:

Նոդվածում բերված են նաև պսակի հզորության կորուստների մեծությունները անձրևի տարբեր ինտենսիվությունների դեպքում: Ինչպես երևում է նկ. նկ. 2 և 3 պսակի հզորության կորուստների մեծությունը խիստ աճում է անձրևի ինտենսիվության աճման հետ միասին, այդ տեղի ունի անձրևի ինտենսիվության աճման որոշ սահմաններում, որից հետո կորուստների մեծությունը պրակտիկորեն մնում է անփոփոխ Նկ. 2 երևում է, որ պսակի հզորության կորուստները անձրևի ժամանակ շատ ավելի բարձր են, քան թե «լավ» եղանակի դեպքում: Նկ. 4 բերված են պսակի կորուստների մեծությունները թաց և չոր ձյան, մառախուղի, եղյամի և ճենջարի դեպքերում: Համեմատության համար այստեղ բերված են նաև կորուստները «լավ» եղանակի դեպքում: Ինչպես երևում է նկարից ամենամեծ կորուստները տեղի ունեն ճենջարի ժամանակ:

Նախնական արդյունքները ցույց են տալիս, որ բարձունքային պայմաններում օդի հարաբերական խտությունը պսակի հզորության կորուստների վրա ավելի մեծ ազդեցություն է գործում «լավ» եղանակի դեպքում:

Աղյուսակ 2 բերված են պսակի հզորության կորուստների միջին և մաքսիմալ մեծությունները ծովի մակերևույթից 2000 մ բարձրության վրա էլեկտրահզորման գծի երևք ֆազերում՝ 220 և 240 կվ լարման և АСУ-300 հազորդալարի դեպքում:

Ստացված արդյունքները հնարավորություն են տալիս ճշտել պսակի կորուստների վերահաշվման և տարեկան կորուստների որոշման մեթոդները՝ բարձունքային պայմաններում անցնող բարձր լարման էլեկտրահզորման գծերի համար:

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Cohen F.*, Results of Tests carried out at 500 kv Experimental Station of Chevilly (France) Especially on Corona Behavior of Bundle Conductors. Tr. AIEE. vol 67, 1948 p.p. 1118—26.
2. *Cohen F.*, The Problems of Power Transmission of Voltages above 225 kv. Beama journal, for the British Electrical Industry, 1951 sept., p.p. 269—281 oct, pp 314—377, november, p.p. 362—375.
3. *Грдзелян Р. А., Джанджугазов Н. Г., Карапетян М. М., Торосян А. С.* Измерительная схема для исследования потерь энергии на корону переменного тока. Известия АН Армянской ССР (серия ТН), т. X, в. I, 1957.
4. *Попков В. И., Богданова Н. Б.* О методике оценки годовых потерь энергии на корону. Журн. "Электричество" № 1, 1957.