

# НЕВИДИМИ ГРОЗИ



**Валерій Тирнов**  
канд. фіз.-мат. наук,  
доцент,  
журналіст,  
м. Харків

**Д**иректор інституту "Блискавка" (Харківський національний технічний університет "ХПІ") професор *В.І. Кравченко*, розповідаючи про співробітників, представив свого заступника з наукової роботи, канд. техн. наук. *Г.М. Коліушко* як головного приборкувача блискавок в Україні.

Але Георгій Михайлович цим титулом не спокусився:

— *Розумієте, блискавка або ударить або не ударить. Але і крім блискавок є маса прозаїчних речей, які запросто трапляються на виробництві, особливо в енергетиці. Це короткі замикання і перетікання заряду при перемиканнях у мережах високої напруги, супроводжуваних великими струмами.*

*Від них не застрахуєшся, вони трапляються достатньо регулярно і можуть заподіяти шкоди — і блискавок не треба! Аж до загибелі людей.*

*До речі, і основне наше завдання формулюється саме так: **забезпечення безпечних умов праці.***



*Так виглядає блискавка в атмосфері Землі з космосу (НАСА)*

## **Для тих, хто хоче все зрозуміти**

Можна, звичайно, не читати цей розділ (та і не писати теж), але тоді важко зрозуміти всю красу приладу, створеного колективом відділення ВДС (високвольтних джерел струму) інституту "Блискавка".

Для експерименту потрібний електроскоп і металева сфера (порожниста куля), закріплена на ізолюючій ручці. Електроскоп ставимо на стіл, а кулю кладемо на полицю над головою. Коли він полежить там якийсь час, він придбає (через те, що повітря — неідеальний ізолятор) потенціал, який мала точка простору, в яку він поміщений. Почекали, поки встановиться потенціал, а потім беремося за ізолюючу ручку і швидко (щоб "по дорозі" не встигли стекти заряди) торкаємося кулю до стрижня електроскопа. Його стрілка відхиляється! Це говорить про те, що на різних висотах потенціали точок в атмосфері різні. Перепади потенціалу можна виміряти, і тоді виявиться, що вони становлять приблизно 120 вольт на кожен метр висоти, тобто, в атмосфері існує більш-менш постійне вертикальне електричне поле.

Не обговорюючи те, звідки це поле береться і як підтримується (до речі, підтримується грозами, що переносять негативні заряди з верхніх шарів атмосфери на Землю), але чому воно нас "не б'є"? Ризикну припустити, що більшість читачів про нього навіть не підозрюють. Річ у тому, що це поле є електростатичним, тобто постійним, незалежним від часу. Коли ми вносимо тіло-провідник (у якому є дуже багато вільних електричних зарядів) в електростатичне поле, відбуваються такі процеси. Ці заряди приходять під його дією в рух і перерозподіляються в об'ємі тіла так, щоб їх власне електричне поле компенсувало зовнішнє поле. Тоді потенціали всіх точок тіла зрівнюються і струми припиняються. Це відбувається за час, рівний приблизно одній тисячній секунди. Цей рух зарядів досить слабкий, але його достатньо, щоб компенсувати практично будь-яке доступне людині електричне поле. Отже, запам'ятаймо: в електростатичному полі потенціали всіх точок провідника однакові і струми в ньому текти не можуть.



**Саме у такий спосіб розкопують пристрої заземлення**

Але це справедливо тільки в електростатичному полі. Якщо провідник підключити до джерела струму, ніякої електростатики немає, і потенціал точок провідника обов'язково змінюється уздовж лінії струму.

Людське тіло є досить гарним електричним провідником, і тому в електростатичному полі його точки мають один і той самий потенціал, а струми в ньому текти не можуть. Через те атмосферне поле нас і “не б'є”.

Цікаве запитання: **як виглядає тіло-провідник — скажімо, людина, скажімо, металевий виріб — з погляду істоти, що має суто електричний зір? Так, в природі існують електричний скат, електричне вугор... Відповідь така: тіло-провідник виглядає для них як ділянка, зафарбована одним і тим самим кольором, функцію якого відіграє однаковий потенціал. Такому “зору”, до речі, в принципі можна навчити комп'ютер. Запам'ятаємо і це.**

### **Лабораторна робота для 1-го курсу “Електричне поле постійного струму”**

Береться частина металевого листа неправильної (можна і правильної, але це нудно) форми. Дві його точки з'єднуються з клемми джерела струму, третя точка — з “нулем” вольтметра. До другої клеми приєднується щуп із вістрям, яке можна встановити в будь-яку точку листа. От і все. Якщо на листі намалювати систему координат для оцифровки його точок, то можна тепер зняти розподіл потенціалу по поверхні листа, виділити точки з однаковим потенціалом, намалювати лінії рівного потенціалу і т.п. Це буде повна картина наявного в листі електричного поля. А зв нею можна намалювати і картину розтікання струмів. Така робота нітрохи не гірше виходить і на змінному струмі невисокої частоти, і її часто ставлять саме на змінному струмі, і для студентам цього можуть і не казати, щоб “не обтяжувати юні дарування додатковими теоретичними поясненнями”.

### **На місцевості**

Солідні електрогосподарства я бачив тільки здалека, як і читач, оскільки ближче нас не пускають. І правильно роблять.

Ці потужні машини і ці ажурні хитросплетіння металевих конструкцій призначені для розділення і розподілу величезних електричних зарядів, що доставляються до місця призначення так само величезними електричними струмами. В принципі, по цих конструкціях ці струми можуть текти і течуть, тому всі їхні точки зовсім не зобов'язані мати один і той самий потенціал. І, якщо в

більшості побутових ситуацій ви можете бути упевнені в безпеці, доторкаючись до навколишніх предметів, то на об'єкті електроенергетики (і навіть поблизу від нього) така впевненість може призвести до небезпеки. Причина в тому, що ви можете стояти ногами в точці з одним потенціалом, а доторкнутися пальцем до точки з абсолютно іншим потенціалом, і тоді з вами може трапитися велике лихо, — ви потрапите під так звану “**напругу дотику**”. Ви можете абсолютно спокійно стояти на місці, але, зробивши крок убік, потрапити під “**крокову напругу**” з сумними наслідками за причини, що у вас під ногами можуть текти великі струми, навіть по землі. Обговоримо аварійні ситуації, які бажано попередити і



**Бригада в полі. В центрі — Г.М. Коліушко**

звести їхні наслідки до мінімуму. Це і є техніка безпеки.

Для цього потрібно електрично з'єднати між собою всі деталі цих конструкцій і забезпечити їм надійний контакт із Землею для максимально вільного перетікання зарядів між ними і вирівнювання їхніх потенціалів. Це називається заземляючим **пристроєм заземлення (ПЗ)**. Якщо воно добре, надійно виконано, то ризик аварій, пов'язаних з пробоями і короткими замиканнями мінімальний. Земля із-за своєї величезної електричної ємності всі вільні заряди збере на себе. І нещастя може відбутися тільки із-за порушень правил експлуатації. Але, якщо врахувати, що всю цю, начебто і нескладну, роботу потрібно виконати на площі 10 -15 гектарів і більше, закопати в землю сотні, а може й тисячі металевих предметів та ще з'єднати їх між собою тощо, стає зрозуміло, що саме обсяг цієї роботи позбавляє її початкової принципової простоти. Коли ж ПЗ змонтовано і закопано, він стає недоступним для візуального спостереження, піддаючись водночас дії всіх видів корозії.

— “**Нормативні документи, — розповідає Георгій Михайлович, — починаючи з 1947 року, наказують розкопувати ПЗ кожні 12 років, щоб перевірити їх і відновити. Але коли ми стали займатися цією проблемою і виїжджати на об'єкти, ми виявили, що ніхто, ніде і ніколи ПЗ не розкопував. Ніразу в 12, ніразу в 30 років. Навіть коли з'являлася впевненість в тому, що в частих аваріях винні ПЗ — їх все одно не розкопували, просто згорі клади нові. Тоді ми і зрозуміли, як важливо мати методу їхнього контролю без розкопування.**

**І ми таку методику створили спільно з Московським енергетичним інститутом, з яким у нас існують давні традиційні зв'язки. Електрики-практики нам не відразу повірили. Приїхали ми якось на підстанцію після аварії, нашими приладами досить швидко знайшли порушення зв'язку ПЗ із головним щитом керування. “Ось тут,” — показую пальцем під ноги. “Тут??? Та не може**



*бути. Де завгодно, але тільки не тут!” — “Розкопуйте”. Розкопали — точно. Потім пригадали, що кілька років тому на це місце кислоти з акумуляторів виливали”...*

Методика ця, по суті, вже описана вище в “Лабораторній роботі для 1 курсу”. З однією відмінністю: у ній використовується не постійний струм, а змінний з частотою 400 Гц. З одного боку, промисловість давним-давно освоїла випуск генераторів на цю частоту для інших цілей, а з іншої — вона добре виділяється серед струмів панівної промчастоти.

Враження, що, мовляв, приїжджають на підстанцію чепуруни, дістають із кишені “чарівну паличку” і одразу ж знаходять аварійний ПЗ, є помилковим. “Чепуруни” повинні виконати “лабораторну роботу для 1 курсу” на майданчику в півтора десятки гектарів. Ця праця велика і дорога, хоч і незрівнянна за вартістю з археологічними розкопками ПЗ. Вона передбачає зйомку електричної карти місцевості, що перебуває під струмом з частотою 400 Гц, а оскільки ПЗ розташовані на невеликій глибині, їх так само добре видно, як побачив би їх електричний скат. Видно увесь метал, закопаний у землю і зв'язки між ним.

Що стосується “чарівної палички”. Спочатку це було декілька незручних ящиків загальною масою понад 50 кг. Тепер — маленька валізка на зразок ноутбука і декілька невеликих коробочок. Отже, “чарівна паличка”



**“Чарівна паличка” — обладнання для виявлення пристроїв заземлення**

все таки є, але побігати з нею треба чимало.

Отже, після того, як метал виявлений, можна побудувати математичну модель всього ПЗ, завантажувати в комп'ютер. А оскільки кожний ПЗ унікальний, модель доводиться щоразу створювати наново, хоча тепер, після багатьох років роботи, це вже — справа техніки. Далі модель перевіряється на відповідність експериментальним даним, отриманим на об'єкті, тому що при її створенні доводиться робити спрощувальні припущення щодо провідності ґрунтів, які можуть виявитися не цілком адекватними і такими, що вимагають корекції. І так доти, поки розрахункові значення не відрізнятимуться від експериментальних не більше ніж на 20-25%. Але все одно це незмірно дешевше за розкопки.

Після того, як модель відкореговано, є впевненість в її адекватності, тобто її можна використовувати як своєрідну “Касандру”. Її можна ставити запитання, а вона відповідатиме. Припустимо, в цю точку вдарила блискавка з певними параметрами, або між двома точками відбулося коротке замикання.

Як потечуть виниклі струми? Якою буде напруга дотику в різних точках? А крокова напруга?

На всі ці запитання можна отримати відповідь, що наближує нас до божественного всезнання, на підставі якого можна дати рекомендації: які ремонтно-відновні роботи потрібно провести, щоб понизити рівень напруги, що виникає як в процесі нормальної роботи, так і при аварії, так і отримати за її допомогою безпечні параметри, відповідні нормативним вимогам.

### **До “того” або “після”?**

Залежно від площі об'єкта (це може бути як невелика підстанція або насосно-перекачувальна станція, так і повнометражна АЕС) вартість діагностики ПЗ становить від 10 до 100 тис. гривень. Саме тому можливість проводити її регулярно власника об'єкта не надихає, — копійчки шкода. Інша справа, — коли “блискавка вдарила, гром грянув”, — аварія сталася. Тут уже сам бог велів шукати пошкодження, а то заміниш вигоріле устаткування, а воно тут же вигорятиме знову, тому що не усунуто причину аварії.

— “2 січня 1998 року, — розповідає Г.М. Коліушко, — нам подзвонили з Кіровограда. У них на основній підстанції, що живить Кіровоград, згорів трансформатор, і вони попросили обстежити її заземлювальний контур. Погода була м'яка (взимку, при рясному снігу наша робота істотно ускладнюється), і 4 січня наша бригада виїхала до Кіровограда, де і пропрацювала до 12 числа. Виявили багато порушень. Одне з найсерйозніших — це те, що головний щит керування взагалі не мав зв'язку із пристроєм заземлення. В принципі, Кіровоград до нас звертався і до аварії, щоб ми їхню підстанцію проінспектували. В ті часи це коштувало дешево — 5 тис. грн., але грошей все ніяк не знаходили. А нормативних документів, які б примушували керівників платити, не існувало.

Незабаром після того, як ми відправили протокол до Кіровограда, подзвонив головний інженер. “Ви те місце, де згорів трансформатор, дивилися?” — “Звичайно”. — “А чому ви там нічого не показали?” — “Та тому що там нічого не було. Заземлення у трансформатора було відсутнє”.

І я тоді поцікавився, скільки коштує такий трансформатор. Отримав відповідь: він коштує \$238 тис. І це ще не все. 50% цієї вартості коштує його монтаж і введення в експлуатацію. Порівняно з 5 тис. гривень це величезні суми, що, звичайно ж, варто було витратитися. Щось аналогічне було у нас у Червонограді, в інших місцях.

Загалом, дозріла така ідея, і ми стали займатися підготовкою і “пробиттям” відповідних нормативних документів. На сьогоднішній день вже не перший рік існує наказ по Мінпаливенерго, згідно з яким жоден об'єкт енергетики не може бути зданий в експлуатацію без нашого позитивного висновку. Більш того, кожен такий об'єкт підлягає нашій обов'язковій перевірці принаймні один раз у 12 років. Справа, звичайно, не в тих грошах, які заробляємо ми, а в тих, які економить енергокомплекс, попереджаючи аварії”.

Георгій Михайлович показує карту України, на якій відмічені вже перевірені об'єкти. Це більш, ніж півкраїни.

“Знаєте, — кажу я йому, — адже ця розробка, мабуть, заслуговує Державної премії”.

“Так, — погоджується Коліушко, — та тільки Держпремію ми нещодавно отримали за розробки в аерокосмічній галузі”.