



## ПОТРІБНО НЕ БЛОКУВАННЯ, А СИГНАЛІЗАЦІЯ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПРИСТРО-  
ЇВ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ ПІДНЯТТЯ КУЗОВА  
(СТРИЛИ) САМОХІДНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ПРИБЛИ-  
ЖЕННІ ДО ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

*Приблизно 20% від усіх смертельних уражень електричним струмом у гірничодобувній промисловості сталися через висотне самохідне обладнання, що контактує з повітряними ЛЕП. Ретельний аналіз цих аварій засвідчив, що 56% травмованих гірників одночасно контактували з обладнанням і землею після того як відбувся контакт із ЛЕП і не мали уявлення про ураження струмом*



**П**рацівники могли уникнути травми, якщо б знали, що обладнання вже знаходиться під напругою. Ті пристрої аварійної сигналізації для визначення приближення до ЛЕП, що є в наявності на ринку, і механізми яких сконструйовані для блокування підняття кузову або стріли, в тому разі, коли обладнання потрапило в зону заздалегідь обраної відстані від лінії, теоретично є ефективним рішенням цієї проблеми. Проте на практиці вони не дуже широко застосовуються через очевидні обмеження експлуатаційних якостей і високу початкову вартість. На відміну від них, аварійна сигналізація для визначення контакту, незважаючи на те, що вона не призначена для уникнення всіх супутніх травм, може бути надійною, доступною та практичною альтернативою.

## ПОЧАТОК ДОСЛІДЖЕНЬ

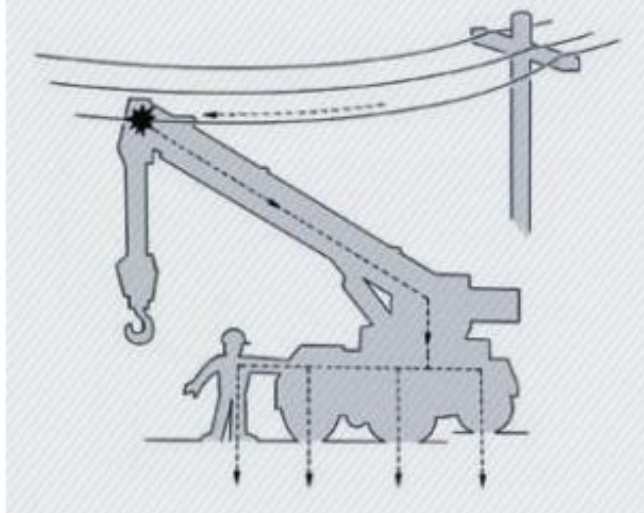
Національним інститутом США з охорони праці та захисту здоров'я працівників і науково-дослідною лабораторією міста Пітсбурга проведено дослідження, де, згідно з експериментальною програмою, розглядалося кілька областей. Керуючись висновками оригінального технічно-економічного обґрунтування, у низці експериментів у подальшому вивчався загальний потік струму на землю, що виявляється достатнім для підведення напруги до самохідного обладнання, яке експлуатується на кількох типах поверхонь робочих зон. Серія пов'язаних з цим експериментів визначила, яка частина від сумарного струму може бути спрямована для вимірювання через провідне з'єднання на шарнір стріли крана або кузов самоскида.

Об'єднані результати цих двох досліджень засвідчили, що вимірювання потоку струму на землю за деяких обставин не є надійним індикатором того, що шасі обладнання знаходиться під напругою. На основі цього висновку розглянуто альтернативний метод для виявлення контакту з ЛЕП, зокрема виявлення підвищеної напруги електричного поля між шасі обладнання і землею. Під час додаткових експериментів була виміряна максимальна величину напруги, якої може зазнавати оператор обладнання під час контакту з ЛЕП, знаходячись у кабіні або поруч із вихідним шляхом. Незважаючи на те, що ця остання область не була критичною для розробки аварійної сигналізації для визначення контакту з ЛЕП, вона безпосередньо пов'язана з безпекою праці під час такого контакту.

## МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ

Спеціалізована територія для експериментів створена у науково-дослідній лабораторії міста Пітсбурга для вивчення сумарного потоку електричного струму, що протікає на землю крізь обладнання, та для виявлення електричних полів під обладнанням під час контакту з ЛЕП. Територія дозволяє керувати порівняннями ефектів типів робочої поверхні та способів контакту з землею. Територія знаходиться на віддаленій горизонтальній ділянці, що вкрита травою, на відстані кількох сотень футів від найближчої проїзної частини або споруд, які активно використовуються, без відомих підземних трубопроводів або сміття. На території створено п'ять ділянок роз-

**РИС. 1** ТИПОВА АВАРІЯ: ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ ПРОТІКАЄ КРИЗЬ САМОХІДНИЙ КРАН І ПРАЦІВНИКА ПРИ КОНТАКТІ З ПОВІТРЯНОЮ ЛЕП



**ВИМІРЮВАННЯ ПОТОКУ СТРУМУ НА ЗЕМЛЮ ЗА ДЕЯКИХ ОБСТАВИН НЕ Є НАДІЙНИМ ІНДИКАТОРОМ ТОГО, ЩО ШАСІ ОБЛАДНАННЯ ЗНАХОДИТЬСЯ ПІД НАПРУГОЮ**

міром 30x50 футів (9,1x15,2 м), щоб відтворити звичайну проїзну частину та поверхні робочої зони, в тому числі залізобетон, асфальт, ущільнений щебінь, голу землю і зону незайманого дерену.

Використання протікання електричного струму крізь самохідне обладнання як ознаки контакту з ЛЕП вимагає простого, надійного і практичного методу вимірювання струму. Одним із методів є використання датчика струму для електричного провідника або шунта, що з'єднує шарнірне з'єднання, таке як з'єднання стріли крана або кузова самоскида. Це залежить від відведення крізь шунт струму достатньої величини для проведення точного вимірювання.

Серія експериментів, у яких вимірювалася величина струму, що протікає крізь такі шунти у випадку, коли електричний струм протікає крізь обладнання різних типів у поєднанні з результатами експериментів для шунта шарнірного з'єднання, визначають, чи є контрольований потік струму, що протікає на землю під час контакту з лінією, надійним засобом для приведення в дію аварійної сигналізації для визначення контакту з ЛЕП.

Поверхні асфальту і бетону були у всіх експериментах сухими, а стан ґрунту змінювався від сухо до трохі вологого. Джерелом живлення для експериментів був портативний генератор на 6500 Вт, що постачав живлення на трансформатор змінного струму з регулюванням 0-240 В, а трансформатор подавав живлення на підвищувальний трансформатор 220/9000 В звичайної конструкції. Напруга на виході для кінцевого змінного струму 60 Гц регулювалася від 0 до 9000 В змінного струму. Прикладена напруга контролювалася через вихідний трансформатор за допомогою зонда високої напруги і цифрового вольтметра, а струм вимірювали за допомогою послідовно підключеного цифрового амперметра на клеммах за-



**РИС. 2** ІНТЕРФЕЙС СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СИГНАЛІЗАЦІЄЮ SIGALARM



землення. Вихідний провід високої напруги був підключений до самохідного обладнання, а провід заземлення – до заземлювача на ділянці.

Були отримані дані як для вантажівки, так і для крана на п'яти поверхнях, збільшувався приріст рівня прикладеної напруги при 500 В змінного струму і записувався сумарний потік струму на землю. Збір даних зупинявся при 4000 В або при 1 А змінного струму, залежно від того, що досягалось швидше. Значення 4000 В змінного струму було встановлено для зменшення ймовірності пошкодження шин від проходження шляху і виникнення електричної дуги, а 1 А змінного струму є максимальним значенням на виході для підвищувального трансформатора.

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

На підставі результатів експериментів для шунту шарнірного з'єднання, можна зазначити, що сумарний струм величиною як мінімум 600 А змінного струму повинен протікати через шасі машини, щоб виявлення було надійним. В ідеалі, цей мінімальний рівень повинен протікати при прикладеній напрузі величиною приблизно 2300 В змінного струму або менше. Це граничне значення нейтральної напруги для номінальної системи з 4160 В змінного струму, найнижча напруга, що зазвичай буває на рівнях розподілення повітряних ліній електропередач. Ці експерименти засвідчили, що для обладнання з поверхнею

з великим питомим опором, такою як асфальт, або в разі, коли стабілізатори крана підтримуються сухою деревиною, протікає струм, що недостатній для виявлення контакту з лінією електропередачі. Це свідчить про те, що вимірювання струму, яке використовується саме по собі, не є серйозним підходом для аварійної сигналізації для визначення контакту з ЛЕП.

Оскільки обмеження зі зчитування струму стали очевидними, як альтернативний метод для виявлення контакту самохідного обладнання з ЛЕП були досліджені вимірювання електричного поля. Електричне поле існує між двома будь-якими тілами однакового потенціалу. У цьому випадку першим тілом є шасі рухомого обладнання під напругою, другим – робоча поверхня, що знаходиться на потенціалі землі або близько до потенціалу землі.

Вимірювання цього електричного поля було запропоновано як метод виявлення контакту з повітряною ЛЕП. Вимірювання електричного поля є основою для наявних на ринку приладів, що попереджують про небезпечне зближення, але воно має свої практичні обмеження, які ускладнюють точне визначення відстані до ЛЕП у різних умовах. Була висловлена думка, що мета виявлення шасі під напругою – більш легкокероване завдання, оскільки відмінність напруженості електричного поля під шасі між станом під напругою і безпечним станом повинна бути відчутною, навіть при напругах нижче тих, що, ймовірно, будуть наявні на повітряних ЛЕП.



Інша серія експериментів проведена для визначення ймовірності помилкових тривог, коли обладнання, що має аварійну сигналізацію для визначення контакту, побудовану на основі вимірювань електричного поля, працює поблизу ЛЕП (без прямого контакту). Для розташувань обладнання як паралельно, так і перпендикулярно до лінії, напругу поступово збільшували до 42 кВ змінного струму, в той час як проводився контроль схеми спрацьовування вузла датчика електричного поля для аварійної сигналізації. Лабораторне обладнання обмежувалося максимальною прикладеною до лінії на землю напругою величиною 42 кВ змінного струму, що представляє собою одну фазу номінальної трифазної системи 73 кВ змінного струму (лінія до лінії). Відстань у 10 футів (3 м) була взята з невеликим запасом, оскільки це ближче, ніж дозволяє спрацювання УСПВЛ при роботі обладнання від повітряної лінії 73 кВ змінного струму, що складає 10 футів 10 дюймів (3,3 м) і 12 футів 0 дюймів (3,7 м) відповідно. Розташування обладнання паралельно до повітряної лінії в 42 кВ викликало найвище значення напруженості поля під обладнанням зі значеннями 15 В/м змінного струму для вантажівки і 92 В/м – для крана, при зонді датчика, що транслював 8% і 50% від мінімального рівня спрацьовування сигналізації відповідно. Додатково ці стаціонарні величини не перевищувалися у випадку, коли напруга в лінії стрімко зростала від 0 до 40 кВ змінного струму (приблизно за 3 секунди). Був проведений один додатковий експеримент із краном, запаркованим паралельно до лінії, але зі стрілою, яка була піднята таким чином, що її верхівка знаходилася на відстані приблизно 3 дюймів (7,6 см) від лінії. У цьому випадку наведене поле на зонді датчика складало 138 В/м змінного струму, або 78% від мінімального рівня спрацьовування аварійної сигналізації. Дані результати свідчать про те, що помилкові спрацьовування УСПВЛ відбуваються, ймовірно, не при роботі на стандартних відстанях від ЛЕП.

Вимірювання електричного поля виявилось надійним методом для визначення шасі обладнання під напругою. Робочі характеристики були достатніми незалежно від типу поверхні, на якій працювало обладнання (з різним питомим опором), або від способу контакту з поверхнею, такою як гумові шини, металеві колодки стабілізатора або бруси з сухої деревини. Вимірювані зміни електричного поля, яке існує між шасі обладнання, що знаходиться під напругою, та землею, можуть бути надійним індикатором контакту з ЛЕП.

У ситуації контакту обладнання з ЛЕП зазвичай наявні небезпечно високі напруги між шасі обладнання і землею, також вони можуть мати вигляд ступінчастих потенціалів на поверхні землі поблизу працюючого обладнання. Таким чином, за відсутності пожежної безпеки, оператор повинен залишатися на борту обладнання у випадку контакту з лінією, доки лінія або обладнання не знеструмлені. Дослідники вважали, що справедливості цього припущення повинна бути перевірена при дослідженні безпеки можливого ураження електричним струмом, що наявна на борту кранів і вантажних автомобілів, коли електричний струм протікає крізь них. Була виміряна різниця напруги, що виникає через потік струму в кабіні оператора і на шляху слідування оператора до виходу та спуску з обладнання. Коли потенці-

али були екстрапольовані до 1000 А постійного струму для струму крізь шасі, це призвело до максимального впливу на операторів при величині 3,4 В постійного струму. Цей висновок підтримує загальну рекомендацію для оператора, за можливості залишатися на обладнанні у разі контакту з ЛЕП.

## ВИСНОВОК

У багатьох аваріях при контакті самохідного обладнання з ЛЕП, травм можна було б уникнути, якби оператори обладнання і працівники, які працюють поруч, просто знали той факт, що відбувся контакт із ЛЕП. Дослідження також підтвердили, що оператори навряд чи зазнають ураження електричним струмом, якщо вони залишаються на борту обладнання під час контакту з високовольтною лінією. Тому комплектація самохідного обладнання приладом сигналізації приближення до ЛЕП (УСПВЛ) не є запорукою запобігання уражень електричним струмом. Система контактної аварійної сигналізації із ЛЕП може знайти набагато ширше застосування в гірничодобувній промисловості, будівництві та інших галузях промисловості.

## ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Cawley, J. C., (2003) 'Electrical accidents in the mining industry', IEEE Trans Industry Applications, IEEE V 39, No. 6, pp. 1570-1577.
2. Fitzgerald, R. L. (2000) 'Novel applications of carbon fiber for hot mix asphalt reinforcement and carbon-carbon pre-forms', MS Thesis, Michigan Technological University, p. 45.
3. Homce, G. T., Cawley, J. C., Yenchek, M. R. and Sacks, H. K. (2001) 'An alarm to warn of overhead power line contact by mobile equipment', Proc. IEEE, IAS Annual Meeting, Chicago, IL, October, 8pp.
4. HVP Systems Inc. (2002) PMD 405, 5224 West State Road 46, Sanford, FL 32771, [www.info@hvpsystems.com](http://www.info@hvpsystems.com).
5. MSHA (2004) US Mine Safety and Health Administration, Regulation 30 CFR 77.807-2, <http://www.msha.gov/30cfr/77.807%2D2.htm>.
6. OSHA (2004) US Occupational Safety & Health Administration, Regulation 29 CFR, 1926.550(a)(15)(i-iii), <http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.showdocumentp table>.
7. Sacks, H. K., Cawley, J. C., Homce, G. T. and Yenchek, M. R. (2001) 'Feasibility study to reduce injuries and fatalities caused by contact of cranes, drill rigs, and haul trucks with high tension lines', IEEE Trans Industry Applications, IEEE, Vol. 37, No. 3, pp. 914-919.
8. Sacks, H. K., Yenchek, M. R., Homce, G. T. and Cawley, J. C. (2003) US Dept. of Health and Human Services, U.S. Patent No. 6,600,426 B1, Alarm System for Detecting Hazards Due to Power Transmission Lines, July 29, 2003.
9. SAE (1995) Society of Automotive Engineers, Standard J1113/26-SEP95.

**ПІДГОТУВАВ ЮРІЙ ПРОКВОЛІТ,**  
МЕНЕДЖЕР ІЗ ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ Й  
ОХОРОНИ ПРАЦІ ТОВ З ІІ «ЦЕППЕЛІН-УКРАЇНА ТОВ»