УДК 622.272:004.051

А.В. ПИРОЖЕНКО , канд.техн.наук, доц.,
Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій
І.В. КАСАТКІНА, В.О. ФЕДОТОВ, кандидати техн.наук, доценти,
В.П. ВЛАСЮК, аспірант, Криворізький національний університет
П.І. ПОЛІЩУК, машиніст локомотива, ТЧ-1. ВП «Локомотивне депо Одеса-Сортувальна»

ІДЕНТИФІКАЦІЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИЧИН ЕЛЕКТРОТРАВМАТИЗМУ У ЗАЛІЗОРУДНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Мета. Метою даної статті є дослідження виникнення травмонебезпечних факторів, що призводять до електротравм, для розробки системи «людина – залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси» і можливості більш точного аналізу обставин електротравматизму з встановленням його дійсних причин, що, в свою чергу, дозволить знизити ризики виникнення електротравм на залізорудних підприємствах.

Методи дослідження. У статті використано загальнонаукові методи дослідження. За основу під час проведення досліджень було покладено системний метод аналізу електротравматизму з розробленням як самої системи виникнення травмонебезпечних факторів, що призводять до уражень електричним струмом, так і логічних моделей, які розкривають механізм виникнення електротравм, з використанням математичного апарату стаціонарного Пуассонівського потоку для випадкових параметрів.

Наукова новизна. Вперше розроблена, проаналізована та досліджена система аналізу електротравматизму «людина – залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси» з логічними моделями до неї, які розкривають механізм виникнення електротравм, що дозволило більш впорядковано та обґрунтовано підійти до дослідження причин їх виникнення.

Практична значимість. Розроблені логічні моделі виникнення травмонебезпечних порушень та реалізації небезпеки ураження електричним струмом у системі «людина – залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси» дозволяють достовірно виявити причини та пов’язані з ними умови виникнення електротравм. Запропонована методика математичного аналізу небезпечних подій, формуючих електротравму, на базі математичних характеристик для випадкових параметрів стаціонарного Пуасонівського потоку.

Результати. Наведені дослідження переконливо показують недостатню ефективність загальновідомої системи «людина – електроустановка – середовище». Встановлено, що запропонована логічна модель реалізації небезпеки ураження електричним струмом системи «людина – залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси» та логічні моделі виникнення травмонебезпечних порушень і реалізації небезпеки ураження електричним струмом у системі «людина –залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси» дозволяє враховувати як усі можливі небезпечні дії персоналу, так і небезпечні процеси, що призводять до ураження електричним струмом, що, в свою чергу, дозволить підвищити рівень електробезпеки залізорудного виробництва в цілому.

Ключові слова: електротравматизм, залізорудне виробництво, системний метод, електротехнічні комплекси, Пуасонівський потік.

doi: 10.31721/2306-5451-2024-1-58-58-64

Проблема та її зв’язок з науковими та практичними завданнями. Недопустимо високий рівень електротравматизму у залізорудному виробництві, особливо під час видобутку корисних копалин як підземним так і відкритим способами, пов'язаний не в останню чергу з недостатньо досконалою системою його аналізу. Так, загальновідома система «людина – електроустановка – середовище» не дозволяє об'єднати усі фактори, що впливають на виробничий електротравматизм. Тому існує нагальна потреба розроблення більш досконалої системи аналізу, яка дозволяє об'єднати усі фактори, що впливають на виробничий електротравматизм, на основі побудови та аналізу логічних моделей для встановлення причинно – наслідкових зв’язків між окремими факторами й закономірностями, у котрих ці фактори проявляються.

Аналіз досліджень та публікацій. Управлінню ризиками виникнення електротравм, їх ідентифікації, класифікації та аналізу на підприємствах гірничо – металургійного комплексу присвячені публікацій багатьох авторів. Залізорудне виробництво характеризується не лише підвищеною професійною захворюваністю, а й підвищеним рівнем електротравматизму. Із загальної кількості всіх електротравм більшість обумовлена типовими причинами організаційного характеру, до яких належать: незадовільна організація виконання робіт, порушення вимог техніки безпеки, недоліки у навчанні працівників, порушення трудової дисципліни[1-4]. Значна частина працівників гірничо – металургійного комплексу мають незадовільні умови праці, а саме: знос технологічного устаткування; високий рівень ручної праці; підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень звуку на робочих місцях; підвищена

© Пироженко А.В., Касаткіна І.В., Федотов В.О., Власюк В.П., Поліщук П.І., 2024

температура повітря; низький рівень механізації трудомістких технологічних процесів[5-8]. Вочевидь, усі ці фактори підвищують ризики травматизму, у тому числі і електротравми. В багатьох галузях промисловості відома багатофакторна система ідентифікації та класифікації причин електротравматизму, однак вона була відсутня до сьогодення у гірничорудній промисловості. Відома система, яка дозволяє оцінити порушення просторово – часових і функціональних взаємозв'язків її елементів, а саме «людина – електроустановка - середовище». Основними недоліком вказаної системи є недостатня конкретика та деталізація травмонебезпечних порушень, що знижує об'єктивність факторів виникнення виробничого електротравматизму. Виробничий електротравматизм слід розглядати як продукт сумісної дії багатьох зовнішніх причин (технічних, санітарно – гігієнічних, організаційних, соціальних) й людського фактору, що включає психофізичні і фізичні особливості людини. Дане представлення виникнення виробничого електротравматизму відкриває принципову можливість більш глибоко й об'єктивно досліджувати фактори й їх об'єднання, що призводять до нещасних випадків.

Постановка завдання .Розроблення системи «людина – залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси», яка дозволяє об'єднати усі фактори, що впливають на виробничий електротравматизм, на основі побудови та аналізу логічних моделей для встановлення причинно – наслідкових зв'язків між окремими факторами й закономірностями, у котрих ці фактори проявляються.

Викладання матеріалу та результати. Електротравматизм доволі складне і багатоаспектне явище, що виникає у системі «людина – залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси» внаслідок порушення просторово – часових і функціональних взаємозв'язків її елементів. Дана система відрізняється від розглянутої і проаналізованої багатьма авторами «людина – електроустановка - середовище» більшою конкретикою, оскільки дана категорія «середовище» замінена на більш точну категорію аналізу обставин електротравматизму для установлення його дійсних причин. Шляхом теоретичного узагальнення відомих робіт [1-3] була розроблена схема виникнення травмонебезпечних факторів у системі «людина – залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси» (Л – ЗВ - ЕТК), представлена на рис. 1. З неї видно, що виробничий електротравматизм слід розглядати, як продукт сумісної дії багатьох зовнішніх причин (технічних, санітарно – гігієнічних, організаційних, соціальних) й людського фактору, що включає психофізичні і фізичні особливості людини. Дане представлення виникнення виробничого електротравматизму відкриває принципову можливість більш глибоко й об'єктивно досліджувати фактори й їх об'єднання, що призводять до нещасних випадків.

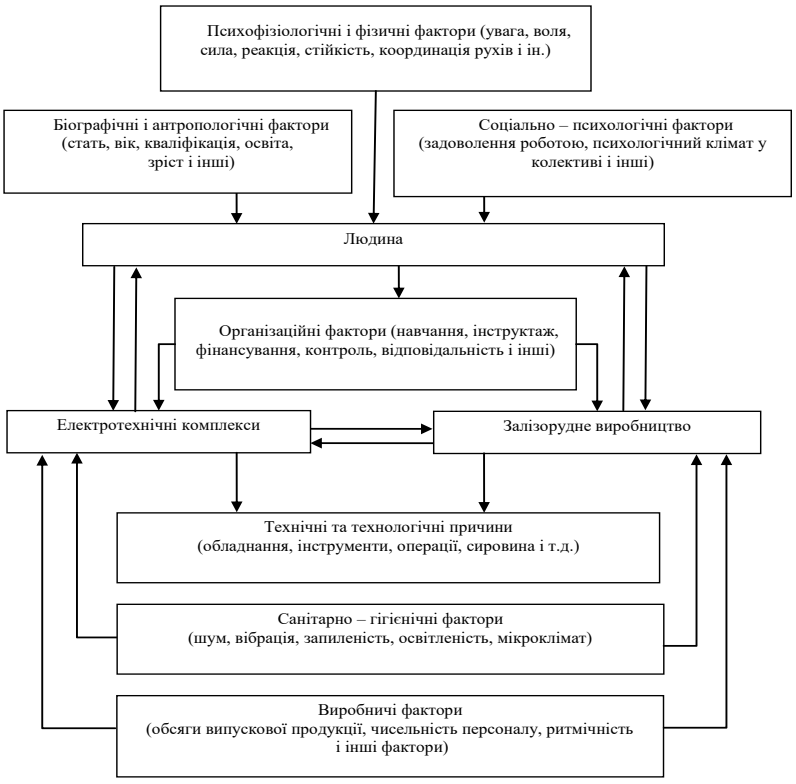

Рис. 1. Схема виникнення травмонебезпечних факторів у системі «людина – залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси»

Разом з тим слід вказати, що у гірничорудній промисловості до нинішнього часу не відомі об'єднання факторів, що визначають виникнення електротравм, хоча наявність зв'язків між рівнем електротравматизму й вище зазначеними факторами (рис. 1) доведено достатньо переконливо у різноманітних ґалузях промисловості. Для отримання об'єктивної характеристики електротравматизму в останні роки найбільш перспективним є системний метод, що включає побудову й аналіз логічних моделей для встановлення причинно – наслідкових зв'язків між окремими факторами й закономірностями у котрих ці фактори проявляються. Системний метод аналізу відрізняється від інших методів, головним чином, не науковим апаратом, а впорядкованим, логічно обґрунтованим підходом дослідження причин електротравматизму.

Шляхом теоретичного обґрунтування відомих наукових досліджень [1 - 4], сформована логічна модель виникнення травмонебезпечних порушень у процесах функціонування системи «Л – ЗВ – ЕТК», (рис. 2).

Дана модель показує, що травмонебезпечні ситуації виникають у системі при відхиленні дій з організації і технічного забезпечення її функціонування від вимог нормативно – технічної документації, що регламентує: умови безпечної взаємодії людини з виробництвом й електротехнічними комплексами; технічного стану обладнання електроустановок, інструментів, засобів захисту обладнання і персоналу, з котрими людина взаємодіє у процесі роботи й котрі повинні бути у безпечному стані.

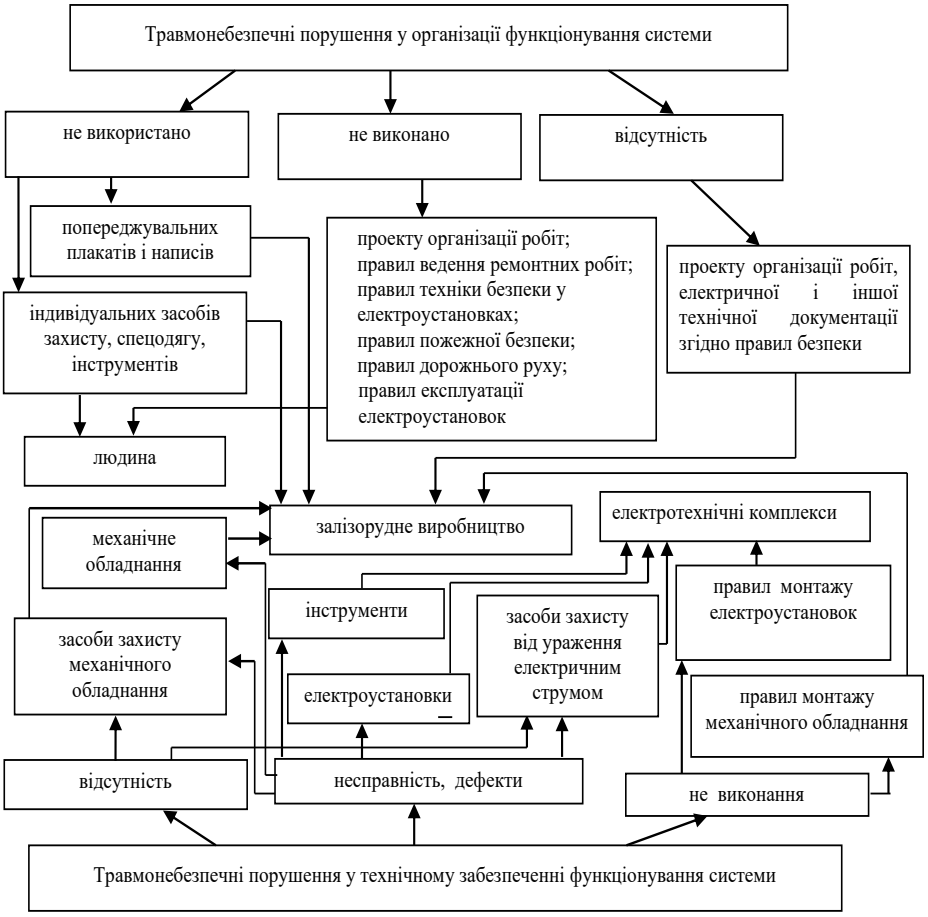

Рис. 2. Логічна модель виникнення травмонебезпечних порушень у процесах функціонування системи «людина – залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси»

Запропонована логічна модель дозволяє встановити відповідно до яких порушень формуються травмонебезпечні ситуації при функціонуванні системи «Л – ГП - ЕТК». Для більш повного й достовірного виявлення причин й умов виникнення травмонебезпечних ситуацій й породжуючи їх причинно – наслідкових зв'язків пропонується логічна модель реалізації небезпеки ураження електричним струмом, представлена на рис. 3. У даній моделі усі події, які прий-

мають участь у небезпеці ураження електричним струмом людини розподілені на дві групи: небезпечні дії персоналу й небезпечні процеси.

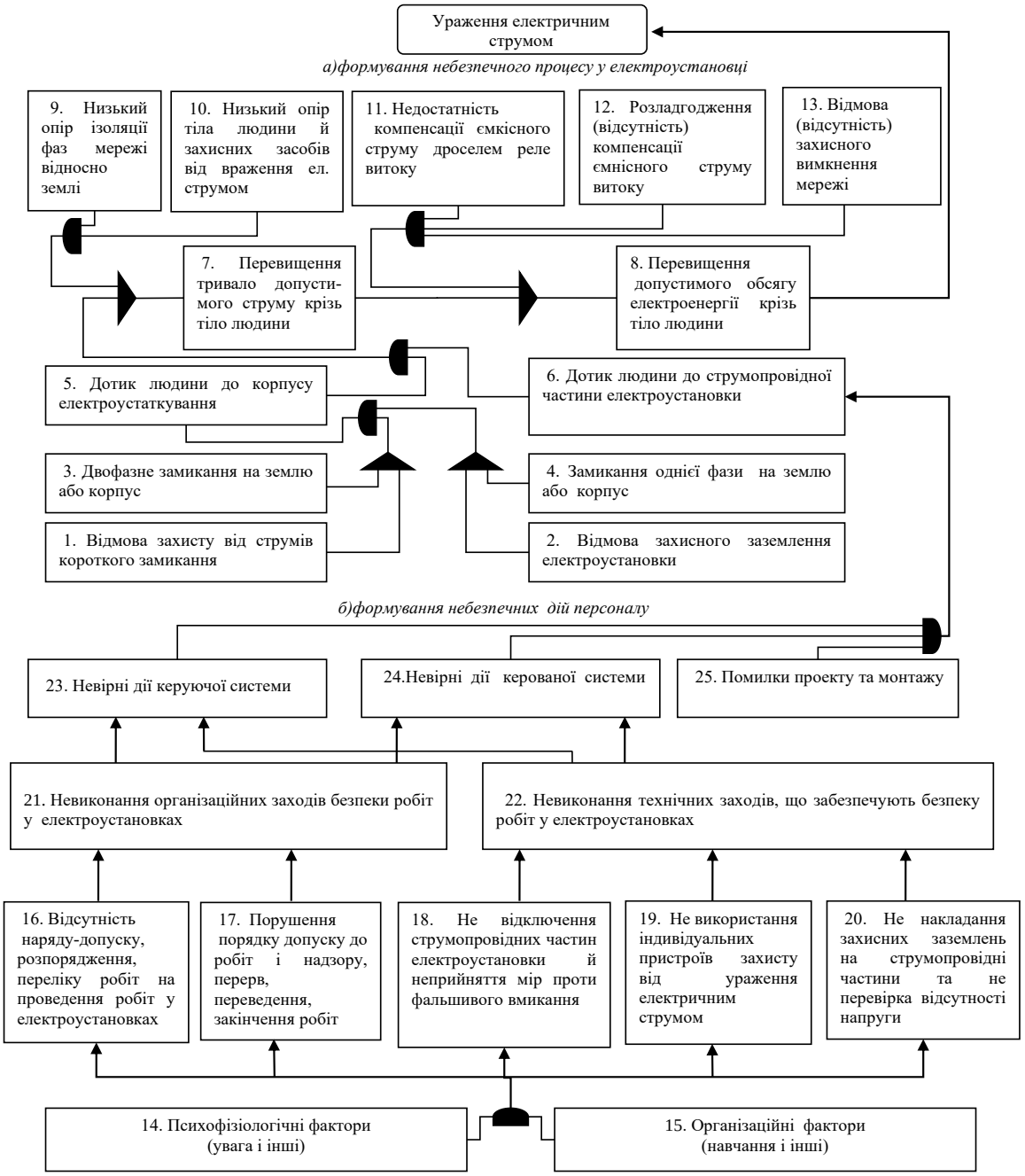

Рис. 3. Логічна модель реалізації небезпеки ураження електричним струмом у системі «людина –залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси»

Небезпечними зонами, де може статися ураження людини є: місця розташування електрообладнання, машин і механізмів на корпусах котрих можлива поява потенціалів по відношенню до землі у результаті виникнення в електроустановках небезпечних потенціалів внаслідок замикань на землю, корпус, обривів заземлюючих провідників і т. ін.; місця розташування струмопровідних частин у електроустановках, конструктивно не захищених від випадкового (не санкціонованого) дотику з ними. Тому небезпека ураження у цих зонах реалізується лише у результаті неправильних дій керуючої *23* і керованої *24* систем або у результаті неправильних дій проекту і монтажу *25*. Під керуючою системою розуміємо коло посадових осіб, котрий зобов'язаний підтримувати функціонування системи «Л – ГП - ЕТК» у обмеженнях, що забезпечують розуміння усіх людей, як діючих у процесах функціонування системи «Л – ГП - ЕТК»,

так і людей, які не мають відношення до неї, але з будь яких причин опинились у небезпечних зонах. У них формується два небезпечних процеси: *6* – торкання людини до струмопровідної частини електроустановки, що знаходиться під напругою; *5* – торкання до корпусів, оболонок, конструкцій або попадання у зону протікання струму у ґрунт, що опинилась під напругою у результаті виникнення в електроустановці аварійних режимів. У даному випадку небезпека ураження створює одночасне існування таких режимів у електроустановці:

виникнення однофазного замикання на землю *4* й відмова пристроїв захисного відключення *13* (захисту від однофазних замикань і захисту від витоків струму), призначених для відключення електроустановки при виникненні такого режиму, а також відмови захисного заземлення *2*, призначеного для зниження до допустимих значень потенціалів у небезпечних зонах, створених струмами витоку з електроустановок, як в аварійних, так і в нормальних (електрична тяга) умовах її роботи;

двофазне замикання на корпус або землю (ґрунт) *3* і відмова електричних захистів від струмів короткого замикання *1*, так як таке замикання є різновидом короткого замикання.

Формування неправильних, небезпечних дій керуючої й керованої систем відбувається під дією людського фактору: психофізіологічні фактори *14* й організаційні фактори *15* (рис. 1 й рис. 2). Під їх дією й відбувається порушення умов безпечної взаємодії людини з елементами системи «Л – ГП - ЕТК», що виражається у невиконанні повністю або частково організаційних *16* і *17* та технічних *18, 19, 20* подій, які забезпечують безпеку робіт у електроустановках. У разі дотику до корпусу *5* або струмопровідної частини *6* електротравми можливі при виконанні двох подій, що реалізують перевищення критеріїв електробезпеки: *7* –по тривалому допустимому струму через тіло людини I_{mp}; *8* – допустимій кількості електрики, що протікає через тіло дотику людини Q_{don}. У свою чергу, події *7* і *8* реалізуються у електротравму при виконанні наступних подій: *9* – низький опір ізоляції мережі відносно землі R_i або низький опір людини R_r; *13* – відмова або відсутність пристроїв захисного вимикання (ПЗВ); *12* – розлагодження компенсації ємнісного струму витоку; *11* – недостатність цієї компенсації у випадку перевищення допустимих для неї значень ємності мережі. Розлагодження компенсації визначає, що її параметри, наприклад, у результаті неправильного встановлення відпайки компенсувального дроселю, не відповідає ємності мережі, а недостатність – це режим перевищення фактичного значення ємності мережі допустимій по технічній характеристиці компенсувального пристрою. Під відмовою ПЗВ розуміється не тільки апаратна відмова, але й функціональна відмова під дією дестабілізуючих факторів, що призводить до не досягнення заданих по технологічній характеристиці величин – уставка, швидкодія і т. д.

Використання логічної моделі реалізації небезпеки ураження електричним струмом складається у наступному:

заміна ймовірності виникнення події з переходим до ймовірнісної моделі реалізації небезпеки ураження електричним струмом;

використовуючи математичні формули суми і добутку ймовірностей окремих складових складних подій, переходимо до математичної моделі ураження електричним струмом;

на основі статистичного матеріалу визначаються ймовірності подій у логічній моделі на рис. 3;

за математичною моделлю визначається ймовірність такої складної події, як ураження електричним струмом й порівнює її значення з умовно прийнятим або регламентованим.

Усі випадкові події у логічній схемі ураження на рис. 3, якщо їх розглядати на протязі більшого відрізку часу, можливо прийняти за потоки небезпечних подій [1-3]. Таким чином можна побачити, що ймовірність попадання того або іншого числа подій на ділянку часу залежить від довжини цієї ділянки й не залежить від розташування цієї ділянки на осі часу (0, t). При більшому відрізку часу потоки небезпечних подій можна розглядати однорідними, тобто прийняти, що площина потоку подій, так звана інтенсивність – середнє значення подій на одиницю часу, залишається постійною. Це означає, що ймовірнісні характеристики потоків події не змінюються у залежності від часу й є однорідними. Вони можуть мати у часі місцеві згущення і розрізнення, що не носить закономірний характер, а середнє число подій, що попадають на одиничну ділянку часу, залишаються постійними на усьому розглянутому періоді. Таким чином, у відповідності з цим потоки небезпечних подій, що формують ураження електричним струмом можливо розглядати, як стаціонарне. Ураження електричним струмом, а також

небезпечні події у логічній моделі на рис. 3, з'являються у послідовні моменти часу незалежно один від одного, т. ч. для будь-яких непересічних ділянок часу кількість подій, що попадають на одну з ділянок часу, не залежать від кількості подій, що потрапляють на інший. Це дає можливості рахувати потоки небезпечних подій потоками без наслідків. Аналіз процесів виникнення електротравматизму [9-11] також показує, що ураження електричним струмом, як правило, не є груповим випадком, а ймовірність одночасного попадання на елементарну ділянку часу двох або більше випадків значно мала порівняно з ймовірністю попадання одного випадку.

Ураження електричним струмом, а також кожне з небезпечних подій, що формуються у потоці, приходять по одному, а не парами, трійками і т. д. Тому потоки небезпечних подій, формуючих електротравму, являються ординарними. У роботах показано, якщо потік подій володіє усіма трьома властивостями (стаціонарний, без наслідків, ординарний), то він має назву станційний Пуасонівський потік, для котрого інтенсивність λ – середнє число подій у одиницю часу є постійним $\lambda = \text{const}$. Нижче наведені математичні характеристики для випадкових параметрів стаціонарного Пуасонівського потоку.

Ймовірність попадання події на ділянку часу виражено формулою

$$Q_m = \frac{\alpha}{m!} e^{-\alpha};\ (m = 0, 1\ ...), \tag{1}$$

де α – середнє число подій, що приходяться на ділянку τ, т. ч. $\alpha = \lambda t$.

При m=0 ймовірність попадання дорівнює

$$Q_0 = e^{-\lambda t}. \tag{2}$$

Ймовірність того, що на ділянку t, що примикає до точки t_0 потрапляє хоча б одна подія потоку, можливо представити виразом

$$F(t) = 1 - Q_0. \tag{3}$$

Закон розподілу інтервалу часу T між сусідніми подіями виражено функцією

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t};\ (t > 0). \tag{4}$$

Щільність розподілу випадкової величини T визначається наступною залежністю

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t};\ (t > 0). \tag{5}$$

Даний закон має назву показовий. Математичне очікування випадкової величини T (середнє значення) $m(t)$

$$m(t) = \frac{1}{\lambda}. \tag{6}$$

Дисперсія величини T

$$D(t) = \frac{1}{\lambda^2}. \tag{7}$$

Середньоквадратичне відхилення випадкової величини T

$$\sigma(t) = \sqrt{D(t)} = \frac{1}{\lambda}. \tag{8}$$

Ймовірність того, що на ділянці Δt з'явиться якась подія потоку, т. ч. ділянка не буде «пустою»

$$Q_1(\Delta t) = 1 - Q_0(\Delta t);\ Q_0(\Delta t) = \frac{1}{0!} e^{-\alpha} = e^{-\lambda \Delta t}; \tag{9}$$

$$Q_1(\Delta t) = 1 - e^{-\lambda \Delta t}. \tag{10}$$

Для практичного використання при розкладанні у ряд $e^{-\lambda \Delta t}$ величинами вищого порядку малості можливо знехтувати. Тому $Q(\Delta t) = \lambda \Delta$.Таким чином, можливо вважати, що ймовірність ураження електричним струмом або проявлення будь якого з небезпечних станів на елементарній ділянці часу Δt наближено рівно добутку інтенсивності потоку λ на величину ділянки Δt.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Прийняті рішення під час розроблення системи «людина – залізорудне виробництво – електротехнічні комплекси» дозволять у більшості ситуацій уникнути негативних наслідків електротравматизму з високою долею ймовірності. Подальші дослідження слід направити на модернізацію даної системи, впровадивши елементи штучного інтелекту.

Список літератури

1. **Гогунський В.Д.** Управління ризиками в проектах з охорони праці як метод усунення шкідливих і небезпечних умов праці / **В.Д.Гогунський, Ю.С.Чернега** // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2013.-№1/10(61). – С.79-82.

2. **Бочковський А.П.** «Людський фактор» та ризик виникнення небезпек: випадковість чи закономірність: монографія / **А.П. Бочковський**. Одеса: Юрид. Літ. 20015. – 132с.

3. **Бондаренко Є.А**. Сучасний стан електротравматизму у енергетичній галузі/ **Є.А. Бондаренко**, **С.Я. Вишневський**, **А.Є. Бондаренко** // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця. 2021.- №3.- С. 18 – 23.

4. **Таірова Т. М.**, **Малихін О. В.** Закордонний досвід державного нагляду з промислової безпеки та охорони праці/ Інформаційний бюлетень з охорони праці, Київ: ДУ "ННДІПБОП".- 2015.- № 2 (73).- С. 59-68.

5. **Таірова Т. М.** Методологічні засади моніторингувиробничого травматизму, моногр. / Київ, Україна: Основ.- 2014.- 201 с.

6. Офіційна веб-сторінка Міністерства енергетики України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?catid=245293124 .

7. Статистичний бюлетень «Травматизм на виробництві» [Електронний ресурс]. - 2015. - Режим доступу до ресурсу: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publzdorov_u.htm.

8. **Пироженко А.В.** Мінімізація електричного потенціалу корпусу кар'єрного екскаватора при позаштатному торканні його ковшем контактного дроту / **А.В. Пироженко**, **Е.О. Модло**, **Ю.В. Шерстньов** // Вісник Криворізького національного університету.- Кривий Ріг,: КНУ.- 2023.- №56.- С.95 – 100, ISSN 2306 – 5451.

9. **Бєгун В.В., Науменко І.М.** Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки). К.: МОНУ, МНС, 2004. 328с.

10. **Р. І. Пахомов, Г. М. Гасій, І. О. Білоус, і Т. В. Лаврут,** «Аналіз, прогнозування та профілактика травматизму з важкими наслідками,» Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, вип. 2, с. 139-144, 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS_2015_2_33 .

11. **К. Н. Ткачук, і О. Є. Кружилко,** Прогнозування виробничого травматизму, моногр. Київ, Україна: Основа, 2014, 345 с.

Рукопис подано до редакції 04.03.24

УДК 622.1

М.М. КОНДРАТЕНКО , ст. викладач,
С.Г. САВЕЛЬЄВ, Г.В. ГУБІН доктори техн. наук, професори
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ КАЛОРИМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА В ПРОЦЕСІ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ З ВИЗНАЧЕННЯМ ПАРАМЕТРІВ ХВИЛЬ

Відмічено, що покращення міцнісних та термостійких властивостей згрудкованої сировини для металургійного переділу значною мірою може бути досягнуто шляхом механічної активації домішок в шихту огрудкування. Зокрема, з цією метою можна застосовувати ультразвукову обробку бентонітів, які широко використовують в шихті огрудкування при виробництві залізорудних окатишів. Найбільша ефективність впливу ультразвукових хвиль досягається при їх передачі до об'єкту, що піддається обробці, через рідинне середовище. А серед рідин найбільш економним і доступним є саме водне середовище, яке використовується у більшості технологічних процесів, що потребують застосування рідини.

Виконано досліди з обробки ультразвуковими хвилями двох частот – 20 і 40 кГц – водного середовища, яке можна вважати найбільш придатним для ультразвукової активації бентонітів. При цьому потужність генератора ультразвукових хвиль змінювалася в діапазоні від 15 до 150 Вт. Побудовано залежності температури водного середовища від частоти ультразвуку та потужності випромінювача. Обраховано інтенсивність ультразвукових хвиль, їх амплітуду і довжину в залежності від потужності генератора та частоти коливань.

Метою роботи є дослідження параметрів ультразвукових коливань в результаті зміни температури при обробці водного середовища, як одного з можливих рідинних середовищ для ультразвукової обробки сипких матеріалів ультразвуковими хвилями різної частоти та потужності.

Методи наукового дослідження. В роботі використані експериментальні лабораторні та теоретичні загальнологічні методи наукового дослідження – аналіз і синтез, аналогія, узагальнення.

Наукова новизна роботи. На основі проведених дослідів ультразвукової обробки води встановлено інтенсивність, амплітуду і довжину ультразвукових хвиль для різних частот і потужностей генераторів випромінювачів.

Практична значимість роботи полягає у можливості використання на практиці результатів розрахунків інтенсивності та амплітуди ультразвукових коливань, встановленні їх залежності від потужності джерела випромінювання та частоти коливань.

Результати роботи свідчать про те, що ультразвукові хвилі вводять всередину середовища певну кількість енергії, яка викликає підвищення температури, пов'язане зі зміною потужності джерела випромінювання прямою залежністю.

Ключові слова: калориметрія, ультразвук, частота, амплітуда, інтенсивність, потужність, температура, вода.

© Кондратенко М.М. , Савельєв С.Г., Губін Г.В., 2024