

*А.А.Маліновський, канд.техн.наук*

*(Україна, Національний університет "Львівська політехніка")*

## ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ

**Постановка проблеми.** Незмінність протягом багатьох років рівня електротравматизму свідчить про необхідність розроблення нової концепції підвищення рівня електробезпеки з врахуванням сучасних знань про травмуючу дію струму та нових схемно-технічних вирішень електроустановок.

**Аналіз останніх досліджень.** Рівень електротравматизму в Україні багаторазово перевищує рівень в технологічно розвинених країнах, де він після помітного спаду в сімдесятих роках минулого століття, зумовленого масовим впровадженням пристроїв захисного вимкнення, стабілізувався на рівні 5 смертельних випадків за рік на мільйон мешканців. Це дало підставу світовому авторитету в області електробезпеки проф. Г.Бігельмайеру говорити про стагнацію електробезпеки впродовж кількох десятиліть [1], про відсутність протягом останніх 30 років прогресу в розробленні Технічним комітетом 64 Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) нормативних документів з електробезпеки, про підміну комплексного використання найновіших досягнень електропаталогії фрагментарним використанням нових знань [2].

**Задачі досліджень.** Виконати аналіз нормування допустимих для людини електричних дій, дати їм оцінку і запропонувати концепцію підвищення рівня електробезпеки шляхом удосконалення її нормативної бази та схемно-технічних вирішень електроустановок.

**Виклад основного матеріалу.** Загальновизнано, що для певного шляху в тілі небезпека дії струму залежить від його сили і тривалості проходження. Чинні гранично допустимі значення електричних дій встановлені, виходячи з засади, що для будь-якої тривалості існує значення сили струму, яка викликає фізіологічну реакцію організму, допустиму для цієї тривалості. Гранично допустимі значення струму за чинним в Україні стандартом [3] та за документами МЕК [4] близькі одні до одних.

Гранично допустимі струми короточасних (до 1 с) дій в чинних нормативах базуються на концепції запобігання фібриляції шлуночків серця. Однак, смертельні наслідки ураження можуть бути зумовлені й порушеннями функцій системи дихання чи шоком, для яких достатня сила струму, що менша від сили фібриляційного струму. Фібриляційний механізм ураження, особливо в електроустановках з номінальною напругою до 1000 В, не є характерним і домінуючим [5]. За [6] фібриляцією зумовлені лише 7% смертельних електроуражень. Розслідування багатьох випадків смертельних уражень з ретельним відтворенням їх обставин показали, що в 84% випадків струм ураження не перевищував 20 мА, а тривалість, за якої струм такої сили зумовлював смертельні наслідки,

не перевищувала 0,2-0,3 с [6]. За [3] для таких тривалостей допустима сила струму становить відповідно 190 та 160 мА.

Наступне застереження стосується шляхів струму, для яких встановлені допустимі значення струмів. Наведені в [3] значення струмів відповідають шляхам від однієї руки до іншої та від руки до ніг, а в [4] – шляху струму від лівої руки до ніг. Безумовно, ці шляхи струму є найімовірнішими, але не найнебезпечнішими, оскільки на них припадає лише 28% всіх смертельних електроуражень, а решта 72% - на незвичні нетрадиційні шляхи [6]. Відносна небезпека інших 14 шляхів струму встановлена в [4] лише стосовно фібриляції серця так званими серцево-струмовими коефіцієнтами. В стандарті [3] немає порівняння відносної небезпеки шляхів струму для жодної реакції організму, хоч для різних реакцій вона істотно відрізняються. Так, наприклад, пороговий відчутний струм, що характеризує чутливість до дії струму нервової системи, для шляху струму “рука-рука” в 4-5 разів менший від відчутного струму шляху “рука-ноги” і майже на порядок більший від відчутного струму для шляху “долоня-тильна сторона руки” [7]. Порівняння цих даних зі значеннями серцево-струмових коефіцієнтів показує, що безпечніший за умовою виникнення фібриляції шлях струму може бути небезпечнішим за іншого механізму ураження, наприклад, шоку.

З наведеного випливає, що орієнтовані лише на фібриляційний механізм ураження і найвірогідніші шляхи проходження струму чинні нормативи гранично допустимих короткочасних дій не гарантують ні збереження життя, ні захисту від травмування людини. Це суперечить законодавству України і багатьох інших держав, яке проголошує життя і здоров'я громадян найвищою соціальною цінністю, а їх збереження – обов'язком держави.

В Національному університеті “Львівська політехніка” впродовж останніх років ведеться активна науково-дослідна робота з проблем безпечної взаємодії людини з електроустановками. За її результатами запропонована концепція підвищення рівня електробезпеки, яка, на відміну від чинної, передбачає розроблення нормативної бази стосовно допустимих електричних дій з врахуванням всіх механізмів ураження для забезпечення не лише захисту життя людини, а й захисту від травмування організму на основі виявленого зв'язку між розвитком необоротних процесів руйнування тканин тіла та швидкістю зміни струму крізь тіло. Проведеними дослідженнями встановлено, що виникнення і розвиток необоротних процесів руйнування тканин тіла змінює його електричні характеристики і зумовлює лавинне зростання струму крізь тіло за незмінного значення напруги дотику; про початок необоротних процесів свідчить перехід прискорення зміни струму в область додатних значень. На цій основі обґрунтований базовий критерій електробезпеки у вигляді умови: швидкість зміни струму крізь тіло не повинна зростати [8,9].

Дослідження умов виникнення і закономірностей розвитку необоротних процесів в організмі вимагає достовірної інформації про електричні параметри тіла, зокрема, про розрахункові значення опору тіла. Вони необхідні для визначення значення струму крізь тіло за відомим значенням напруги дотику та для переходу від гранично допустимих значень струму, які не можуть бути безпо-

середньо використання для розроблення засобів і заходів захисту від електричних уражень, до гранично допустимих значень напруг дотику. В [3] такий перехід здійснено за мінімальними розрахунковими значеннями опору тіла. Визначення розрахункового опору тіла людини становить основний зміст [4]. Однак, наведена в [4] інформація, не є вичерпною і спирається на обмежену базу дослідних даних. Значення опору тіла одержані вимірюваннями на живих людях лише на напрузі дотику 25 В, а для вищих напруг – зведенням вимірних опорів трупів до опорів живих людей без врахування принципової відмінності шляхів проходження струму в тілі живої людини і трупі [10] та підпорядкованості електричних параметрів тіла в діапазоні напруг дотику до 25 В та в діапазоні понад 25-50 В різним закономірностям [11]. Багато результатів досліджень базуються на даних, одержаних на одній особі (особі проф. Г.Бігельмайєра).

Наявна інформація про електричні властивості тіла обмежена стосовно діапазону значень напруг дотику, їх роду і частоти, шляхів струму в тілі, площ поверхні дотику до електродів. Для поповнення і розширення інформаційної бази запропоновано виявлені на одній особі визначальні характеристики верифікувати спочатку на групі осіб, а їх кількісні оцінки одержувати за даними дослідів на великих спільнотах людей. Опрацьовані безпечні методи одержання даних про параметри тіла в усьому діапазоні можливих електричних дій на основі з'ясування закономірностей, яким вони підпорядковані. Їх суть полягає в наступному. Електричний опір між прикладеними електродами формується елементами тіла з лінійними та нелінійними вольтамперними характеристиками. Нелінійні характеристики для особи ідентичні відносно параметра густини струму під електродами і апроксимуються аналітичними функціями двох видів: одного – в діапазоні до відчутних дій, іншого – в діапазоні більших значень електричних дій; на межі чинності функцій існує область, де вони практично збігаються, це створює передумови визначення апроксимуючої функції для діапазону великих електричних дій за функцією діапазону малих дій [11-14].

Розширена інформаційна база про електричні властивості тіла людини дозволила розробити адекватну математичну модель взаємодії людини з електроустановками [15,16]. Використання математичної моделі зменшує необхідну кількість фізичних експериментів та людей, дозволяє отримати результати в широкому діапазоні зміни параметрів – як людини, так і факторів впливу [17,18]. Досліджені умови виникнення та закономірності розвитку необоротних процесів в організмі, а також розроблений з використанням моделі метод кількісної оцінки впливу струму на нервову систему людини створили теоретичні передумови нормування допустимих електричних дій у вигляді залежної від тривалості допустимої напруги дотику [16,19].

Розроблення на цих передумовах сучасної нормативної бази з допустимих для людини електричних дій вимагає подальших досліджень для одержання статистично достовірних характеристик великих спільнот людей шляхом комп'ютерного експерименту з використанням дослідних даних безпечних обстежень обмеженої групи людей, визначення імовірнісних оцінок умов виникнення необоротних процесів в організмі людини, з'ясування закономірностей

зміни електричних параметрів тіла людини під час розвитку необоротних процесів внаслідок електричних дій.

Причиною незадовільного стану електробезпеки в Україні є також недосконалість нормативної бази, за якою виконана більшість чинних електроустановок. Основні нормативні документи, що регламентували в Україні вимоги до захисту від ураження електричним струмом, а саме: ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.030-81, ГОСТ 12.1.038-82, “Правила улаштування електроустановок” (ПУЕ) “поступаються міжнародним стандартам МЕК 364-3 (1993) і МЕК 364-4-41 (1992) за системністю технічних норм і вимог, за повнотою охоплення факторів впливу довкілля й умов експлуатації” [20]. З 1 січня 2002 р. Держстандарт України ввів в дію групу стандартів МЕК “Електроустановки будівель”, серед них і вузловий для електробезпеки стандарт ГОСТ 30331.3-95[20]. Він містить повний автентичний текст міжнародного стандарту МЕК 364-4-41 (1992) з такою ж назвою. Однак, ще в 1997 р. МЕК змінив індексування своїх стандартів (документ МЕК 364-4-41 має тепер номер МЕК 60364-4-41), а в листопаді 2001 р. вилучив п. 411 “Одночасний захист від безпосереднього та посереднього дотиків”, ввів дуже важливий п. 415 “Додатковий захист” та інші. Таким чином, Держстандарт України ввів в дію застарілий стандарт, що не відповідає чинному стандарту МЕК ні формально, ні за змістом.

Однак, практика застосування стандартів МЕК виявила їх певні недоліки. На основі ґрунтовного аналізу Г. Бігельмайер показав актуальність завдання комплексного перегляду стандарту МЕК 60364-4-41 і вніс багато пропозицій з його удосконалення [1,2].

У Львівській політехніці синтез схемно-технічних вирішень безпечних електроустановок розглядають як другий аспект підвищення рівня електробезпеки. В запропонованих вирішеннях умови безпечної взаємодії людини з електроустановками створені обмеженням струму крізь тіло до допустимих значень внутрішнім опором електроустановок відносно точок можливого дотику людини [21-23]. Цей захід реалізується електричним відділенням фаз трифазних електроустановок одна від одної та від землі. За рахунок усунення надструмів виткових замикань підвищується також рівень пожежобезпеки. Відділення фаз не змінює умов роботи трифазних електроприймачів і не вимагає принципових конструктивних їх змін.

## **Висновки**

1. Запропонована концепція підвищення рівня електробезпеки за рахунок удосконалення нормативної бази стосовно гранично допустимих для людини електричних дій з врахуванням всіх механізмів ураження та нових схемно-технічних вирішень електроустановок.
2. Виявлений зв'язок між розвитком необоротних процесів руйнування тканин і швидкістю зміни струму крізь тіло створює передумови нормування безпечних для життя і нешкідливих для здоров'я гранично допустимих для людини електричних дій.
3. Запропоновані засади синтезу схемно-технічних вирішень електроустановок, в яких підвищений рівень електробезпеки досягається обмеженням

струму крізь тіло внутрішнім опором електроустановок відносно точок можливого дотику людини.

### Список літератури

1. Biegelmeier D., Mörx A. Ganzheitsbetrachtungen und Grundregeln für den Schutz gegen elektrischen Schlag in Niederspannungsanlagen // Materjaly XIII Międzynarodowej konferencji naukowo-technicznej “Bezpieczeństwo elektryczne”- Wrocław (Poland). – 2001. – S.27-58.
2. Teresiak Z. Podstawowe kryteria skuteczności ochrony przeciwporażeniowej – wczoraj, dziś i jutro // Materjaly XIV Międzynarodowej konferencji naukowo-technicznej “Bezpieczeństwo elektryczne”- Wrocław (Poland). – 2003. – S.25-35.
3. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. Введен с 01.07.1983 г., изменение №1 введено в действие с 01.07.1988 г.
4. IEC TECHNICAL REPORT 60479-1. Effects of current on human beings and livestock. Part 1. General aspects. Third edition, 1994-09.
5. Щуцкий В.И., Ахлюстин В.К. Безопасность обслуживания электроустановок углебогатительных фабрик. – М.: Недра, 1979. – 259 с.
6. Манойлов В.Е. Основы электробезопасности. –5-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, 1991. –480 с.
7. Никонець Л.О., Маліновський А.А. і інші. Параметри відчуття людиною дії електричного струму// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000 – №5. – С.35-37.
8. Никонець Л.О., Маліновський А.А. і інші. Дослідження дії постійного струму на організм людини та обґрунтування первинного критерію електробезпеки // Вісник Інженерної Академії України. – 1998 – № 3-4 – С. 124-131.
9. Никонець Л. О., Маліновський А. А. і інші Дослідження лавинного зростання струму через тіло людини у випадку дії постійної напруги // Энергетика и электрификация. – 2001 – №1.- С.50-52.
10. Никонець Л.О., Маліновський А.А. і інші. Електричні параметри тіла людини у разі дії змінної напруги// Збірник наукових праць Львівського національного університету ім. Івана Франка „Теоретична електротехніка”. – 2002. – вип.56. – С. 161-166.
11. Никонець Л. О., Маліновський А. А. і інші. Вольтамперні характеристики тіла людини на змінній напрузі // Энергетика и электрификация.- 1999.- №2.- С.43-46.
12. Никонець Л.О., Маліновський А.А. і інші: Вольтамперні характеристики тіла людини на змінній напрузі довільної частоти та методика визначення параметрів тіла // Вісник Інженерної Академії України., – 1999. – № 2-3. – С. 52-54.
13. Никонець Л.О., Маліновський А.А. і інші. Методика визначення вольтамперних характеристик тіла людини за дослідними даними, знятими у безпечному діапазоні напруг //Енергетика и электрификация. – 2003. – №5. – С. 43-48
14. Никонець Л.О., Маліновський А.А., Лагутін Т.М. Вольтамперні характеристики тіла людини для різних шляхів струмів в тілі // Вісник НУ “Львівська політехніка” "Електроенергетичні та електромеханічні системи". – 2001. – № 435. – С.108-112.
15. Никонець Л.О., Маліновський А.А. і інші. Синтезування і тестування моделі тіла людини як елемента електричного кола // Вісник НУ “Львівська політехніка” "Електроенергетичні та електромеханічні системи". – 2000. – № 403. – С.114-119.
16. Никонець Л.О., Маліновський А.А., Шелех Ю.Л., Математична модель взаємодії організму людини з джерелом постійної напруги //Вісник НУ „Львівська політехніка” "Електроенергетичні та електромеханічні системи". – 2003. – №487. – С.102-107.
17. Никонець Л.О., Маліновський А.А. і інші Залежність параметрів тіла людини і його лінійних моделей як елемента електричного кола від площі поверхні дотику до електродів// Энергетика и электрификации. – 2001. – №2. – С. 51-53.

18. Ніконець Л. О., Маліновський А. А. і інші Вплив стану організму людини на параметри лінійної моделі тіла як елемента електричного кола// Вісник Інженерної Академії України. – 2000. – №2. – с.28-30.
19. Ніконець Л.О., Маліновський А.А., Комаров В.І. Необоротні явища в тілі людини у випадку дії на нього змінної напруги // Вісник НУ “Львівська політехніка” "Електроенергетичні та електромеханічні системи". – 2002. – № 449 – С.143-150.
20. ГОСТ 30331.3-95 Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. Введен с 01.01.2002 г.
21. Электроустановка энергоблока электростанции: Декларационный патент Украины 40295А, Н02j3 /00 / Лисяк Г.М., Маліновський А.А., Ніконець Л.О. Заявлено 21.11.2000; Опубл. 16.07.01, Бюл. “Промислова власність” №6. – 20 с.іл.
22. Гутаревич О.Т., Маліновський А.А., Ніконець Л.О., Шелех Ю.Л. Обґрунтування параметрів мережі з гарантованим рівнем електробезпеки за умовами аварійного режиму електроустановок //Енергетика і електрифікація. – 2002. – №7. – С.40-44.
23. Гутаревич О.Т., Маліновський А.А., Ніконець Л.О., Шелех Ю.Л. Обґрунтування параметрів мережі з гарантованим рівнем електробезпеки напругою до 1000 В за умови безпечного дотику до струмовідних частин у нормальному режимі установки // Енергетика і електрифікація. – 2002. – №8. – С.47-51.