

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Радченко Віктор Миколайович**



УДК 621.316.3;621.001.21

**ОБГРУНТУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ДОПУСТИМИХ ЗНАЧЕНЬ НАПРУГ ДОТИКУ  
В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ЗМІННОГО СТРУМУ**

Спеціальність 05.26.01 – “Охорона праці”

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

Дніпропетровськ - 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Електропостачання промислових підприємств, міст і сільського господарства» Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України (м. Львів).

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор  
**НИКОНЕЦЬ ЛЕОНІД ОЛЕКСІЙОВИЧ**,  
Національний університет «Львівська  
політехніка», Міністерства освіти і науки України  
(м. Львів),  
професор кафедри "Електропостачання  
промислових підприємств, міст і сільського  
господарства"

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**КОВАЛЬОВ ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ**,  
Донецький Національний технічний університет,  
Міністерства освіти і науки України (м. Донецьк),  
завідуючий кафедрою „Електропостачання  
промислових підприємств і міст”;

кандидат технічних наук  
**ТОВСТИК ЮРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ**,  
Науково-дослідний інститут безпеки робіт в  
гірничій промисловості (м. Макіївка),  
завідуючий лабораторією „Електробезпека  
гірничо-шахтного обладнання”

Захист дисертації відбудеться "29" червня 2010р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Національному гірничому університеті Міністерства освіти і науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19

Автореферат розісланий "14" травня 2010р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
к.т.н.

О.О. Азюковський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

**Актуальність теми.** Актуальність теми зумовлена стагнацією в розробленні та впровадженні заходів та засобів підвищення безпеки використання електрики. В країнах СНД, в тому числі в Україні, число смертельних електроуражень за рік на 1 мільйон громадян приблизно в 30 разів перевищує число уражень в країнах Заходу і становить біля 30. Кількість електротравм в електроустановках (ЕУ) напругою до 1000 В перевищує кількість електротравм в ЕУ напругою понад 1000 В. Широке впровадження в Україні нормативів МЕК стосовно електробезпеки, в тому числі в існуючих мережах, суттєво підвищить рівень електробезпеки, але не вирішить проблему електробезпеки.

Аналіз свідчить, що параметри електричних дій за реальних смертельних уражень значно нижче допустимих за чинними нормативними документами. Це обумовлено нормуванням допустимих короткочасних дій за одним з можливих механізмів ураження – фібриляцією серця.

Значним кроком, в розумінні механізму дії електричного струму на організм людини, стали роботи В.Є.Манойлова, К.А.Ажібаєва, Л.В.Гладилина, В.И.Щуцкого, О.П.Кисильова, П.А.Доліна, Г.Бігельмайєра та інших авторів.

Проблеми електробезпеки вирішуються в Україні в Інституті електродинаміки НАН України (А.М.Кравченко), Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут”, Національному гірничому університеті (С.А.Волотковський, А.З.Ніколайчук, Г.Г.Півняк), Макіївському науково-дослідному інституті безпеки робіт в гірничій промисловості (В.П.Колосюк, Ю.В.Товстик, В.П.Коптиков, З.М.Іохельсон, А.Г.Мнухін), Донбаській Національній академії будівництва і архітектури (Н.І.Носанов), Донецькому державному технічному університеті (Ковальов О.П., Журавель Е.А., Шевченко О.А.).

Теоретичні основи кардинального зниження електротравматизму, запропоновані Малиновським А. А., передбачають реалізацію нової концепції, яка вимагає розроблення методів визначення нормативів електробезпеки з умов запобігання необоротним процесам травмування

організму людини та засад синтезу схемно-технічних вирішень безпечних ЕУ за критерієм гранично допустимих напруг дотику.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконується у відповідності з Законом України “Про Загальнодержавну програму адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу” від 18 березня 2004 року, № 1629-IV, Розділ V “...пріоритетними сферами, в яких здійснюється адаптація законодавства України, є сфери:..., охорона праці”; Концепцією “Загальнодержавної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2006-2011 роки”, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 11 травня 2006 р., № 269-р.

**Мета і задачі дослідження.** Метою досліджень є обґрунтування та забезпечення допустимих значень напруг дотику в електроустановках змінного струму.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати стан електробезпеки в ЕУ змінного струму та обґрунтувати етапи дослідження умов їх безпечної експлуатації;
- обґрунтувати гранично допустимі значення напруг дотику в аварійному режимі роботи ЕУ для тривалості дії до 1 с;
- сформулювати засади створення імовірнісної моделі тіла людини та використати її для обґрунтування гранично допустимих значень напруг дотику в аварійному режимі роботи ЕУ для тривалості дії понад 1 с;
- провести синтез технічних вирішень ЕУ напругою до 1000 В, які відповідають умовам безпечної експлуатації.

**Об'єкт дослідження.** Взаємодія ЕУ змінного струму з організмом (тілом) людини, як елементом електричного кола, що створює проблемну ситуацію.

**Предмет дослідження.** Нормування допустимих напруг дотику в ЕУ з умов запобігання необоротним процесам в організмі; розроблення технічних заходів з їх забезпечення.

**Методи досліджень.** Дослідження виконані з використанням

теоретичних і експериментальних методів, зокрема: активних фізичних

експериментів – для дослідження електрофізичних характеристик тіла

людини; методи апроксимації, екстраполяції і регресійного аналізу –

для опрацювання і узагальнення результатів експериментальних

досліджень електрофізичних властивостей тіла людини; методи

математичного моделювання – для відтворення струмів крізь тіло і

напруг дотику за довільних електричних дій; методи математичної

статистики та теорії ймовірностей – для встановлення характеру взаємозв'язку між статистичними параметрами дії, що зумовлюють необоротні процеси, та статистичними параметрами вольт-амперних характеристик (ВАХ), для визначення імовірності виникнення необоротних процесів в тілі людини та імовірності ураження змінною напругою дотику; методи теорії вирішення винахідницьких задач – для розроблення технічних вирішень, що забезпечують допустимі значення напруг дотику в ЕУ змінного струму.

*Ідея роботи* полягає в створенні безпечних умов взаємодії людини з ЕУ змінної напруги шляхом нормування для аварійних режимів гранично допустимих напруг посереднього дотику, за яких не виникають необоротні процеси руйнування тканин тіла і травмування організму, в синтезі технічних вирішень, що забезпечують дотримання запропонованих норм.

### **Основні наукові положення і результати, їх новизна Положення**

Безпечні умови взаємодії людини з ЕУ змінної напруги можливо забезпечити параметричним безінерційним увімкненням послідовно з опором тіла людини додаткового опору та (чи) швидкодійним шунтуванням тіла людини.

### **Наукові результати**

1. Вперше експериментально встановлено, що опір тіла людини в діапазоні частот  $0 - 10^6$  Гц має виключно активно-ємнісний характер.

2. Вперше експериментально встановлено, що ВАХ на постійній напрузі збігаються з побудованими за амплітудними значеннями ВАХ тіла людей, знятими на змінній напрузі з частотою до 1 Гц. Це дозволяє визначати параметри нелінійності резисторів узагальненої моделі тіла людини за параметрами нелінійності вольт-амперних та ампер-секундних характеристик на постійній напрузі.

3. Вперше проведено, з використанням наукових результатів п.2, математичне моделювання ураження показало, що раніше виявлене явище зменшення в часі резистансу тіла людини, за дії постійної напруги сталого значення, має місце також і за дії змінної напруги сталого значення і зумовлює поступове зростання амплітуди змінного струму крізь тіло людини.

4. Імовірність виникнення необоротного процесу за однакового значення напруги дотику в ЕУ змінної напруги нижча, ніж в ЕУ постійної напруги; розрахунковий механізм ураження залежить від частоти джерела ураження.

5. Вперше запропоновано метод керування швидкодійним пристроєм шунтування тіла ураженої людини в побутових ЕУ, який полягає в неперервному підтримуванні однакових значень опору ізоляції обох проводів однофазної мережі відносно «землі», в контролі швидкості зміни напруги та фази та керуванні швидкодійним шунтувальним пристроєм, приєднаним до проводу, якого доторкнулась людина, в залежності від фази напруги середньої точки обмотки живлення трансформатора. Такий пристрій дозволяє на порядок скоротити час дії напруги на тіло людини в порівнянні з типовими вирішеннями мереж згідно з рекомендаціями МЕК.

6. Вперше запропоновано спосіб параметричного безінерційного увімкнення послідовно з опором тіла людини додаткового опору та пристрій для реалізації способу у вигляді трансформатора з малим струмом намагнічення та швидкодійного контактора, що шунтує тіло людини.

7. З використанням цифрового комплексу «RE» вперше синтезовані моделі ураження, які складаються з моделей джерел ураження, характеристики яких відповідають п. 5, 6 новизни, та узагальненої імовірнісної моделі тіла людини. За допомогою цих моделей досліджено вплив параметрів мережі на параметри дії електричного струму на людину, виконано оптимізацію параметрів мережі за критерієм значень напруг дотику.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в наступному:

1. З використанням наукових результатів п. 1 – п. 3 доведено, що чинні нормативи електробезпеки за допустимими значеннями напруг дотику і струмів крізь тіло людини для тривалості дії понад 1 с не узгоджені між собою. Для забезпечення необхідного рівня електробезпеки допустиме значення напруги дотику повинно бути зменшене.

2. На підставі математичного експерименту одержана інтегральна функція імовірності виникнення необоротних процесів під дією змінної напруги 50 Гц. Допустимі, за умовою запобігання травмуванню людини, значення напруг дотику значно менші від прийнятних, як допустимі, в державних і міжнародних нормативах. Значення струмів крізь тіло людини для тривалості дії напруги до 1 с не є визначальними.

3. Опрацьовані засади вибору визначальних параметрів типових мереж, за яких напруги дотику не будуть перевищувати рекомендовані в роботі значення.

4. Експериментально визначені значення ємності відносно «землі» основних побутових приладів і мереж. Отримані розрахункові значення ємності для типових квартир, поверхів, під'їздів, будинків.

5. Встановлено взаємозв'язок між умовами захисту людини у випадку безо-середнього її дотику до струмовідних частин та значенням результуючої ємності мережі відносно «землі». На підставі отриманих результатів, запропонована методика визначення місць встановлення та граничної одиначної потужності трансформаторів живлення мережі з підвищеним рівнем електробезпеки.

6. Синтезові схеми електричної мережі змінного струму з номінальною напругою до 1000 В з підвищеним рівнем електробезпеки.

7. Результати досліджень використані у сформованій і впровадженій в навчальний процес напряму “Електротехніка та електротехнології” в Національному університеті “Львівська політехніка” дисципліни “Теорія і практика електро-безпеки” та однойменної дисципліни в навчальний процес напряму “Електро-енергетика” в Придністровському державному університеті ім. Т.Г.Шевченка. Результати досліджень використовуються навчально-тренувальним центром з охорони праці ВАТ «Західенерго». Результати досліджень будуть використані Держстандартом України під час перегляду нормативної бази з електробезпеки. Результати досліджень використані під час реконструкції електричних мереж у м. Тирасполь.

**Особистий внесок здобувача.** Всі результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. У публікаціях, написаних у співавторстві, авторові дисертаційної роботи належить: [1] – участь в розробленні розділів 2-5, розроблення розділу 6; [2] – участь в обґрунтованні методу керування швидкодіючим пристроєм шунтування тіла ураженої людини в побутових ЕУ; [3] – формування теоретичних засад створення узагальненої імовірнісної моделі тіла людини, участь у формуванні рекомендацій щодо допустимих значень напруги дотику для тривалості дії від 1 до 5 с; [4] – проведення експерименту на математичній моделі, участь у формуванні допустимих, за умовою запобігання травмуванню людини, значень напруг дотику; [5] – обґрунтування визначальних параметрів типових мереж, за яких напруги дотику не будуть перевищувати рекомендовані в роботі значення, участь в розробленні способу параметричного безінерційного увімкнення послідовно з тілом людини додаткового опору та пристрою, що його

реалізує; [6] – обґрунтування необхідного об'єму результатів експериментальних досліджень, для створення узагальненої моделі тіла людини; [7] – проведення експериментальних досліджень з визначення розрахункових ємностей відносно «землі» окремих видів електроприймачів, участь в обґрунтуванні розрахункових еквівалентних значень ємності типових квартир, поверхів, під'їздів, будинків; участь в обґрунтуванні методики визначення місць встановлення та граничної одиничної потужності трансформаторів живлення мережі з підвищеним рівнем електробезпеки;

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати досліджень доповідались на науково-технічних конференціях Придністровського державного університету ім. Т.Г.Шевченка 2006-2009 рр., а також на наукових семінарах кафедри ЕПМС Національного університету «Львівська політехніка» у 2007 р., на науковому семінарі відділу електрообладнання Науково-дослідного інституту безпеки робіт в гірничій промисловості (м. Макіївка) у 2008 р.

**Публікації.** За результатами виконаних у дисертаційній роботі досліджень опубліковано 15 наукових праць: 1 монографія у співавторстві, 9 статей у журналах, збірниках наукових праць, з них 7 наукових праць у фахових виданнях, 8 – тези доповідей конференцій.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 130 найменувань та додатків. Повний обсяг роботи – 163 сторінки, у тому числі 129 сторінок основного тексту, 50 рисунків (з них 4 – на окремих сторінках), 21 таблиця (з них 2 – на окремій сторінці), список використаних джерел (на 14 сторінках) і 7 сторінок додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційних досліджень, сформульовані мета та завдання досліджень, викладені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, наведена загальна характеристика роботи.

**У першому розділі** проаналізовано стан електробезпеки та обґрунтовані задачі досліджень:

1. Допустимі напруги дотику в аварійному режимі ЕУ змінного струму потребують перегляду.

Оскільки існуючі нормативи допустимих напруг дотику визначені для тривалості дії до 1 с та для тривалості дії від 1с до 5 с за різними критеріями (фібриляція серця та значення відпускарських струмів), відповідно і підхід до обґрунтування умов безпечної експлуатації ЕУ в аварійному режимі їх роботи для різних часових інтервалів має бути різним.

Для тривалості дії до 1 с, достатньо адаптації імовірнісної моделі виникнення необоротних процесів в тілі людини, розробленої Ю.Л.Шелехом для ЕУ постійного струму до умов ЕУ змінної



напруги промислової частоти. Така адаптація виконана на базі виявлених С.В.Голубовим імовірнісних законів розподілу визначальних параметрів нелінійної частини ВАХ тіла представницької групи людей для напруги промислової частоти та законів розподілу нещасних випадків за значеннями напруг ураження промислової частоти, виявлених В.Є. Манойловим.

Для тривалості дії від 1с до 5с, необхідно створити узагальнену імовірнісну модель, що відображає електрофізичні характеристики спільноти людей за дії напруги довільної частоти. Оскільки ця фундаментальна задача виходить за межі однієї кандидатської дисертації, доробок даної роботи, в колективному вирішенні цієї проблеми, обмежується формуванням засад моделювання нелінійності резисторів узагальненої імовірнісної моделі тіла людини та використанням її для обґрунтування гранично допустимих напруг дотику для тривалості дії понад 1 с.

2. Зміна нормативів допустимих напруг дотику вимагає перегляду технічних нормативів виконання ЕУ та розроблення засад синтезу схемно-технічних вирішень безпечних ЕУ з допустимими напругами дотику, як в аварійних так і в нормальних режимах роботи ЕУ.

**У другому розділі** виконана імовірнісна оцінка ураження людини в ЕУ змінного струму та обґрунтовані пропозиції щодо змін нормативної бази електробезпеки.

Чинна міжнародна нормативна база сформована на результатах обмеженого обсягу експериментальних даних, значну частину яких (досліди на трупах) не можна визнати такими, що відображають властивості живого тіла.

Запропонована МЕК 60990 модель тіла людини, що містить два лінійних резистори і конденсатор, принципово не може відтворити природну нелінійність ВАХ і частотну характеристику тіла.

Узагальнена імовірнісна модель тіла людини, як елемента електричного кола, дозволить стандартизувати умови контролю напруг дотику і струмів в ЕУ з напругами будь-якого роду і частоти.

Сформульовані А. А. Маліновським засади синтезу нелінійної узагальненої моделі, яка б відтворювала електрофізичні властивості тіла людини в усьому діапазоні частот не були реалізовані. Причина цього – відсутність достовірної інформації про електрофізичні властивості тіла людини (а відповідно про характер зміни параметрів елементів узагальненої моделі) за дії напруг в діапазоні частот 0-20 Гц.

Спеціально поставлені досліди з вивчення електрофізичних властивостей та характеру опору тіла людини в діапазоні частот 0-20 Гц. В дослідях, як джерело напруги, використовувався генератор електродинамічної моделі з незалежним збудженням номінальною потужністю 5 кВА і номінальною напругою 230 В, спеціальне виконання якого забезпечує синусоїдність напруги в усіх режимах.

Напруга на виводах генератора регулювалася струмом збудження, а частота – зміною швидкості обертання ротора приводним двигуном

постійного струму. Напругу дотику та струм крізь тіло людини, визначали за методом амперметра-вольтметра з правильним вимірюванням струму (рис.1).

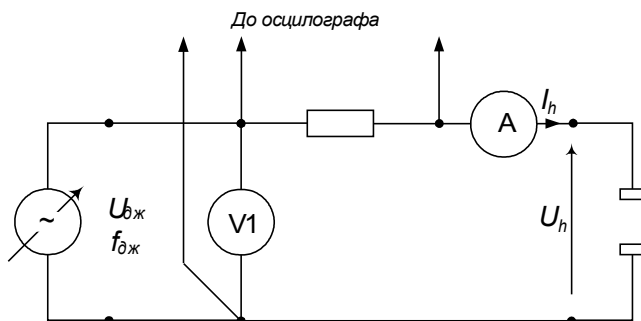


Рис.1. Схема знімання вольт-амперних характеристик

Покази вимірювальних приладів дублювались реєстрацією параметрів дії на двопробеневому електронному осцилографі.

Проведені три серії дослідів. В першій серії, досліджувана особа, охоплювала кожною рукою циліндричні електроди з площею поверхні дотику біля  $76 \text{ см}^2$ . В другій серії, досліджувана особа, натискала долонями на круглі плоскі електроди з площею поверхні дотику  $2,5 \text{ см}^2$ . В третій серії струм проходив від вказівного до середнього пальця лівої руки, електроди такі ж, як у другій серії.

В усіх дослідах була задіяна одна і та ж особа. В кожному досліді фіксували такі координати ВАХ: напругу джерела живлення; струм крізь тіло; кут фазового зсуву між напругою дотику і струмом крізь тіло. Для кожної точки ВАХ, за значеннями напруги дотику та струму крізь тіло, визначали імпеданс тіла. За результатами дослідів побудовані ВАХ тіла людини на інфранизьких частотах (рис. 2).

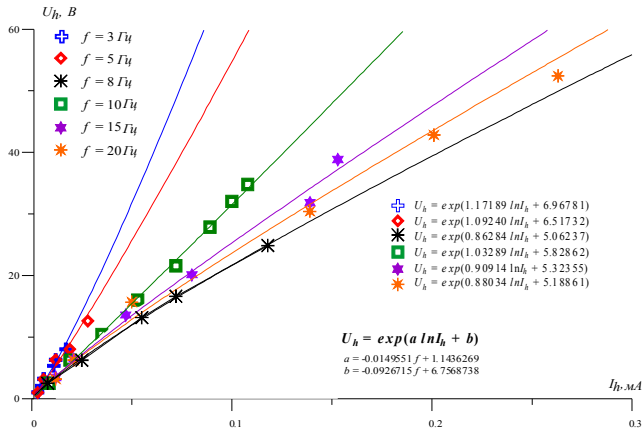


Рис.2. ВАХ тіла людини на інфранизьких частотах, шлях струму "вказівний - середній палець лівої руки", площа поверхні дотику до електродів – 2,5 см<sup>2</sup>

З цієї частини експериментальних досліджень, зроблені такі висновки: характер опору тіла в усіх дослідях – резистивно-емнісний; дія струмів інфранизьких частот не відрізняється принципово від дії струмів промислової частоти.

Для відтворення моделю природної нелінійності ВАХ тіла, необхідно з'ясувати, якими в моделі тіла повинні бути ВАХ її резисторів.

Оскільки розподіл напруги між резисторами моделі залежить від частоти, досліди для визначення характеру нелінійності резисторів, слід проводити на низьких частотах, за яких характер розподілу напруги між резисторами моделі практично не відрізняється від характеру розподілу напруги між резисторами на постійній напрузі. Досліди були проведені на частоті 1/24 Гц. Напругу з такою частотою одержували від спеціально розробленого стенду. Результати дослідів наведені на рис.3.

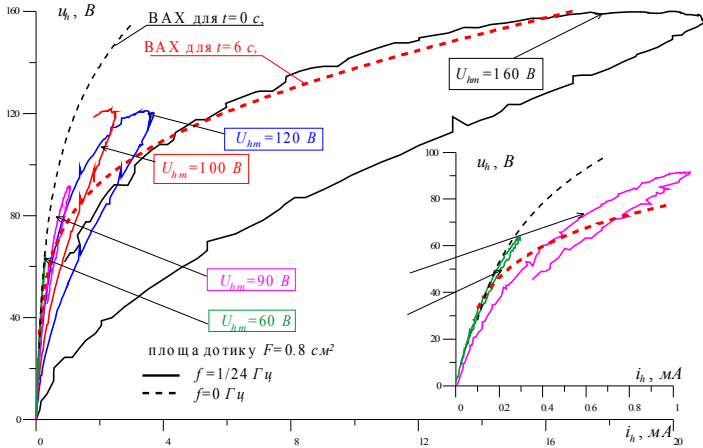


Рис.3. ВАХ тіла за дії напруги інфранизької частоти  $1/24 \text{ Гц}$  (шлях струму «рука-рука»)

Амплітуди синусоїдної напруги з частотою  $1/24 \text{ Гц}$  склали відповідно 60, 90, 100, 120 та 160 В. Час підйому напруги від 0 до  $U_{hm}$ ,  $t = 6 \text{ с}$ . ВАХ мають чітко виражені пряму та зворотну вітки. На характер зворотної вітки суттєво впливає інерційність реакції організму на попередню дію напруги. Для порівняння, на рис.3, пунктиром, показані ВАХ тієї ж людини, зняті за дії постійної напруги дотику в інший час. Оскільки, за умовами досліду, напруга змінювалась від 0 до  $U_{hm}$ , отримані характеристики відтворюють пряму вітку ВАХ для тривалості дії  $t = 6 \text{ с}$ , що відповідає чверті періода синусоїди з частотою  $1/24 \text{ Гц}$ . Практичне значення для вивчення впливу напруги на тіло людини має інтервал часу 0 – 1 с, що дозволяє обмежитись відтворенням резисторами моделі прямої вітки ВАХ.

Для наочності на рис.4 наведена відповідна ампер-секундна характеристика для досліду з напругою  $U_{hm}=160 \text{ В}$ .

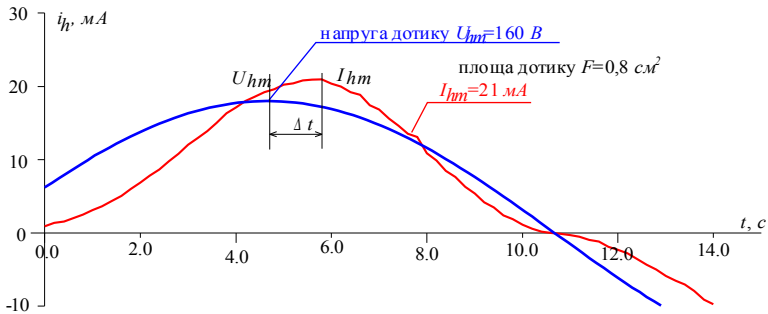


Рис.4. Ампер-секундна характеристика за дії напруги інфранизької частоти

З рис. 4 видно, що амплітуда струму  $I_{hm}$  крізь тіло людини зсунена в часі відносно амплітуди напруги дотику  $U_{hm}$ . Це явище не слід інтерпретувати, як доказ резистивно-індуктивного характеру опору тіла. Раніше доведено, що за дії постійної напруги, струм крізь тіло залежить від значення напруги і тривалості дії –  $i_h = f(U_h, t)$ . Зміна струму в часі, за дії змінної напруги, як і за дії постійної напруги, обумовлена реакцією організму на дію напруги. Тому й у випадку досліду (рис. 4) швидкість зменшення активного опору тіла, в деякому інтервалі часу  $\Delta t$ , від моменту настання  $U_{hm}$  до моменту настання  $I_{hm}$ , є більшою, ніж швидкість зменшення напруги дотику, що обумовлює продовження наростання струму.

З наведених на рис. 3, 4 результатів дослідів, можна зробити висновок, що ВАХ тіла на постійній напрузі, практично збігаються з побудованими за амплітудними значеннями ВАХ, знятими на частоті до 1 Гц. Тому ВАХ на постійній напрузі взяті за основу для побудови узагальненої моделі тіла. Загальна напруга нелінійної ВАХ ділиться пропорційно початковим значенням опорів резисторів  $R_i$ :

$$U_{h_{nli}}(I_h) = U_{h_{nli}}(I_h) \cdot R_i / \sum_{i=1}^n R_i \quad (1)$$

Проведені раніше досліди показали, що в діапазоні частот 20 - 100 кГц ВАХ тіла людини лінійні. Таким чином, частина резисторів моделі (рис.5)  $R_{k+1} - R_n$  повинні бути лінійні. Решта резисторів – нелінійні.

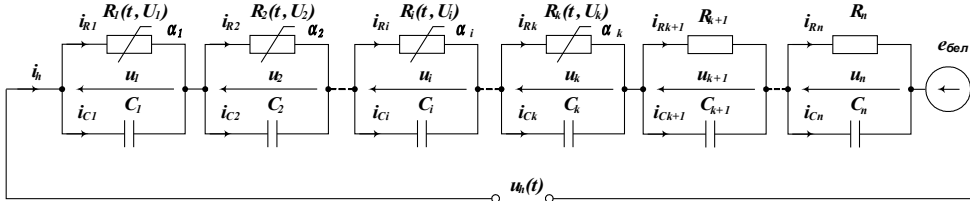


Рис.5. Модель тіла людини як елемента електричного кола

Нелінійність ВАХ окремих елементів визначається розв'язком нижче наведеної системи рівнянь:

$$u_h(t) = \sum_{i=1}^n u_i(t) + e_{\text{бел}}(t);$$

для  $i=1 \neq k$

$$u_i(t) = \alpha_i f_i(i_{Ri}(t)) = \frac{1}{C_i} \int i_{Ci}(t) dt + u_{Ci}(0);$$

(2)

для  $i=k+1 \neq n$

$$u_i(t) = R_i i_{Ri}(t) = \frac{1}{C_i} \int i_{Ci}(t) dt + u_{Ci}(0);$$

$$i_{Ri}(t) + i_{Ci}(t) = i_h(t),$$

де:  $u_h(t)$  – миттєве значення напруги дотику;  $e_{\text{бел}}(t)$  – миттєве значення біоелектричної ЕРС;  $i_h(t)$  – миттєве значення струму дотику;  $u_i(t)$  – миттєве значення напруги  $i$ -ої ланки моделі;  $i_{Ri}(t)$  – миттєве значення струму резистора  $i$ -ої ланки моделі;  $i_{Ci}(t)$  – миттєве значення струму конденсатора  $i$ -ої ланки моделі;  $f_i(i_{Ri}(t))$  – ВАХ нелінійного резистора  $i$ -ої ланки моделі;  $\alpha_i$  – непошкоджена частина резистора  $i$ -ої ланки моделі.

Використання рівняння (1) забезпечує можливість однозначного розв'язання системи (2), що ілюструє розрахунок зміни миттєвих значень струму за дії напруги дотику  $U_h = 150 \text{ В}$  частотою  $50 \text{ Гц}$  (рис. 6а). Аналогічна залежність, знята експериментально для проф. Г.Бігельмайєра, наведена на рис. 6б.

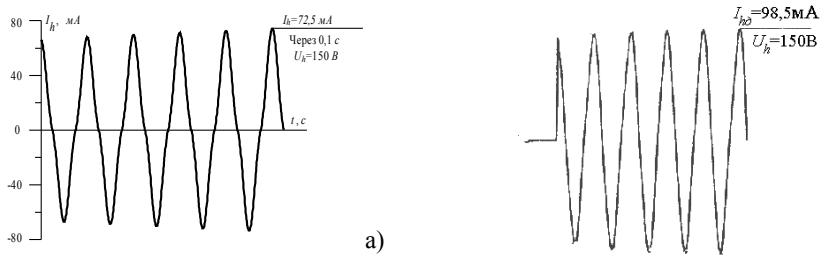


Рис. 6. Осцилограми струмів, що протікають шляхом «рука-рука» за великої площі дотику (а – математичне моделювання, б – фізичний експеримент проф. Г.Бігельмайєра)

Адекватність синтезованої на запропонованих засадах узагальненої моделі тіла людини підтверджена доброю збіжністю імовірнісних розрахункових (на моделі) та експериментальних ВАХ на частоті  $50 \text{ Гц}$  і вище.

Звідси є очевидним, що для створення узагальненої моделі тіла людини, яка адекватно відтворює електрофізичні характеристики людини за дії напруги дотику довільної частоти, достатньо експериментальних вольт-амперних та ампер-секундних характеристик тіла за дії постійної напруги та частотних характеристик в діапазоні  $20\text{--}200000 \text{ Гц}$  за дії напруги, що не перевищує напруги відчуття.

Розрахунки імовірнісного значення опору тіла людини з використанням розробленої моделі показали, що чинні критерії електробезпеки, за допустимими значеннями напруг дотику і струмів крізь тіло людини, не узгоджені між собою. Прийняття, як пріоритету, напруги дотику чи струму обумовлює необхідність суттєвого корегування значення іншого нормативного параметру.

ВАХ тіла людини для будь-якої напруги дотику апроксимуються залежністю:

$$U_h = U_{h \text{ нл}} + U_{h \text{ лін}} = A \cdot \ln(j_h) + B + (H + R_{h \text{ зал}}(F_{\text{макс}}) \cdot F) j_h, \quad (3)$$

де  $U_h$  – напруга дотику, В;  $U_{h \text{ нл}}$  – напруга на нелінійній складовій опору тіла людини, В;  $U_{h \text{ лін}}$  – напруга на лінійній складовій опору тіла, В;  $j_h$  – густина струму під електродами,  $\text{МА/см}^2$ ;  $(R_{h \text{ зал}}(F_{\text{макс}}) = 0,6 - 0,8 \text{ КОМ})$  –

лінійна складова опору тіла для максимальної площі дотику;  $A, B$  – коефіцієнти апроксимуючих функцій, які не залежать від значення прикладеної напруги (до початку необоротних процесів);  $F$  – площа поверхні дотику,  $см^2$ ;  $H$  – константа, що характеризує певні особливості конкретної особи,  $КОМ \cdot см^2$  ( $H = 0,9 - 1$ ).

Для визначення допустимих напруг дотику в аварійному режимі

роботи ЕУ за умов запобігання виникненню необоротних процесів для

тривалості дії до 1 с був проведений математичний експеримент. Для

його реалізації використані: імовірнісна модель виникнення

необоротного процесу за однократної дії певної напруги дотику  $U_h$  ( $U_h = \text{const}$ ):

$$W(U_{h_{нл}}^{кп} \leq U_{h_{нл}}) = \int_0^{U_h} w(U_{h_{нл}}) W(U_{h_{нл}}^{кп}) dU_{h_{нл}}; \quad (4)$$

густина розподілу  $w(U_{h_{нл}})$  випадкової величини  $U_{h_{нл}}$  від значення напруги дотику  $U_h$  (рис.7), та дані гістограми розподілу нещасних випадків за значеннями напруги ураження (рис.8).

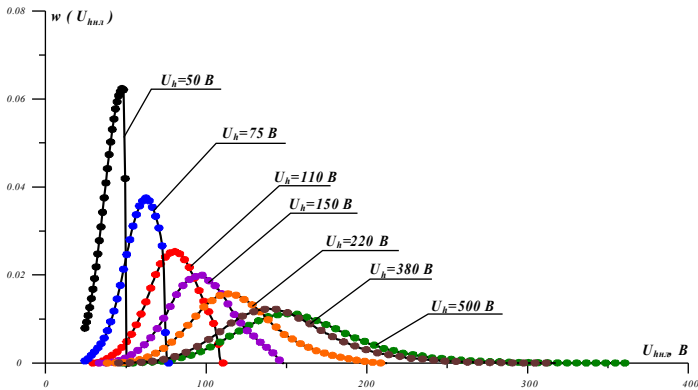


Рис.7. Густина розподілу випадкової величини  $U_{h_{нл}}$  для різних значень  $U_h$

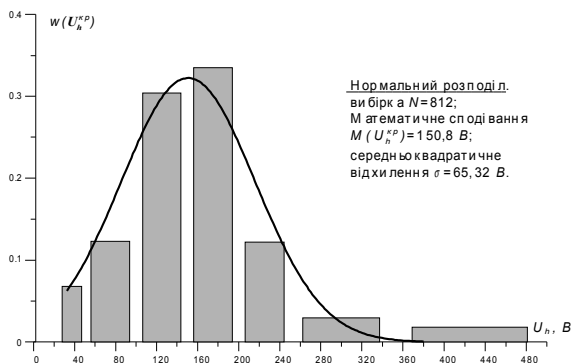


Рис.8. Гістограма розподілу нещасних випадків за значенням напруги ураження (за В.Е.Манойловим)

Для отримання густини розподілу  $w(U_{h_{нз}})$  випадкової величини  $U_{h_{нз}}$ , був проведений математичний експеримент з визначення за (3) значення  $U_{h_{нз}}$ , для певних значень взаємозалежних параметрів  $A, B, R_{h_{зал}}(F_{\text{макс}}), F$ .

Результати розрахунку умовної імовірності ураження людини в ЕУ (прийнято, що імовірність дотику до корпусу аварійної ЕУ дорівнює одиниці) в залежності від значення напруги дотику наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Імовірність ураження в залежності від значення напруги дотику  $U_h$

Частота напруги електроустановки	Площа дотику $F, \text{см}^2$	Напруга дотику $U_h, \text{В}$						
		60	75	110	150	220	380	500
$f=50 \text{ Гц}$	76	0,03	0,05	0,1	0,145	0,22	0,336	0,4
	1	0,07	0,115	0,24	0,41	0,632	0,81	0,85
$f=0 \text{ Гц}$	76	0,03	0,05	0,1	0,2	0,355	0,578	0,67
	1	0,07	0,115	0,39	0,72	0,926	1	1

Оскільки існуючі нормативні документи орієнтуються на велику площу дотику ( $F=76 \text{ см}^2$ ), в таблиці 1, для порівняння, наведені також дані для малої площі дотику ( $F=1 \text{ см}^2$ ), та для постійної напруги. Як видно, імовірність ураження за малої площі дотику значно вища, ніж для великої, тобто, розрахунковою має бути мала площа дотику. Імовірність ураження людини за однакової напруги дотику в ЕУ змінної напруги промислової частоти значно нижча, ніж в ЕУ постійної напруги, що дозволяє висунути гіпотезу про залежність розрахункового механізму ураження від частоти.

Одержані в математичному експерименті допустимі, за умовою запобігання травмуванню організму людини, напруги дотику значно менші від прийнятих, як допустимі, в державних і міжнародних нормативах. Отже дотримання чинних нормативів не запобігає одержанню травм, що суперечить вимогам Конституції і законів України щодо захисту життя і здоров'я громадян.



На заміну вимог нормативів ГОСТ 12.1.038-82 для ЕУ постійної та змінної напруг пропонується проект нормативів, наведений в табл. 2, табл. 3.

Таблиця 2

Гранично допустимі напруги дотику для виробничих ЕУ постійної та змінної напруг для аварійного та нормального ( $t = \infty$ ) режимів роботи

Тривалість дії напруги $t, c$	0 - 1	1 - 5	$\infty$
Постійна напруга, $B$	60	23,5	8
Змінна напруга, $B$	60	10,5	2

Таблиця 3

Гранично допустимі напруги дотику для комунально-побутових ЕУ змінної напруги до 1000  $B$

Нормована величина	Тривалість дії напруги дотику, $c$									
	0-0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1-5	
$U_{h2}, B$	60	55	50	40	35	30	27	25	10,5	

У *третьому розділі* виконано синтез технічних вирішень ЕУ напругою до 1000  $B$  з умов безпечної експлуатації в аварійному режимі.

Були досліджені схеми живлення споживачів, виконані за стандартами МЕК, стандартами США та Японії, а також мережі з підвищеним рівнем електробезпеки.

В табл. 4 наведені допустимі співвідношення опору струмовідного провідника до еквівалентного опору захисного провідника для чинної шкали номінальних напруг.

Таблиця 4

Допустиме співвідношення опору струмовідного провідника до еквівалентного опору захисного провідника для промислових мереж

Допустима напруга, $B$	Номінальна напруга мережі, $B$							
	60	90	110	150	220	440	600	
60	0	0,5	0,83	1,5	2,67	6,33	9	

Альтернативним шляхом приведення електричних мереж у відповідність вимогам табл. 2 може бути використання в схемі живлення споживачів послідовно увімкненого трансформатора з малим струмом неробочого ходу (рис. 9).

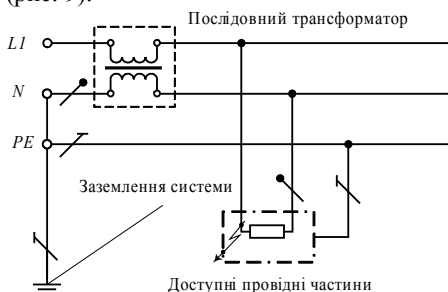


Рис.9. Схема увімкнення послідовного трансформатора

За пробою ізоляції електроприймача (ЕП) на корпус, струм короткого замикання буде рівним струму неробочого ходу  $I_{н.х}$  послідовного трансформатора. Допустиме значення  $I_{н.х}$  може бути визначене із рівності:

$$U_{\text{доп}} \geq I_{н.х} \cdot Z_{PE} \quad (5)$$

В ідеальному випадку, застосування послідовно увімкненого трансформатора, дозволить усунути не тільки виникнення необоротних процесів, а й появу струмів короткого замикання на землю, що підвищить надійність електропостачання споживачів.

Важливо, що за виконання цієї умови, відпадає потреба застосування інших засобів захисту.

**У четвертому розділі** виконано синтез технічних вирішень ЕУ напругою до 1000 В з умов безпечної експлуатації у випадку безпосереднього дотику людини до струмовідних частин. Задачами досліджень цього розділу є:

1. Визначення взаємозв'язку між умовами захисту людини та визначальними параметрами в системах електропостачання з підвищеним рівнем електробезпеки.

2. Обґрунтування методів подальшого підвищення електробезпеки експлуатації електричних мереж та технічних вирішень щодо їх реалізації. Параметром, що визначає значення внутрішнього опору джерела живлення відносно точки дотику є розрахункова ємність фази мережі з ЕП відносно «землі». Для визначення розрахункової ємності був обґрунтований перелік ЕП, які найчастіше використовуються в побуті, їх максимально та мінімально можлива кількість, проведені заміри ємності ЕП відносно «землі». Окремо проводились заміри ємності електропроводки. Складені підсумкові таблиці можливого діапазону ємностей в цілому для квартир, поверхів, під'їздів, будинків. Дослідження проведені в двох будинках міста Тирасполя: 60-тиквартирному 5-типоверховому будинку з трьома квартирами на кожному поверсі: 1–однокімнатна, 1–двокімнатна та 1–трикімнатна; 85-тиквартинному 17-типоверховому будинку з п'ятьма квартирами на кожному поверсі: 1–однокімнатна, 2 – двокімнатні та 2 – трикімнатні.

Результати досліджень дозволили сформулювати вимоги до схем та параметрів елементів побутової електричної мережі з підвищеним рівнем електробезпеки. Значення розрахункової ємності елементів побутової мережі відносно «землі» необхідно порівняти з допустимими значеннями  $S_{\text{доп}}$  мережі в цілому, за яких струм кризь тіло людини, у випадку безпосереднього дотику до струмовідних частин, не перевищить 2 мА. Результатом такого порівняння є визначення місць встановлення та граничної одиничної потужності трансформаторів живлення.

На останньому етапі досліджень був проведений синтез технічних рішень ЕУ напругою до 1000 В, які, в порівнянні з кращими світовими, додатково обмежують значення напруги дотику та тривалість її дії на тіло людини.

Запропонована до впровадження схема електропостачання комунально-побутових споживачів, наведена на рис. 10.

На відміну від типової, схема не має уземлених точок. Але виводи L1, N1, 0 (середня точка) обмотки живлення трансформатора Т приєднані до контуру уземлення через тиристорні ключі (TK1, TK2, TK0) з послідовними резисторами ( $R_{TK1}$ ,  $R_{TK2}$ ,  $R_{TK0}$ ) для обмеження струму.

Ця мережа, в порівнянні з типовою, забезпечує зниження напруги дотику вдвічі, а в порівнянні з кращими світовими, додатково обмежує значення та тривалість дії напруги дотику на тіло людини.

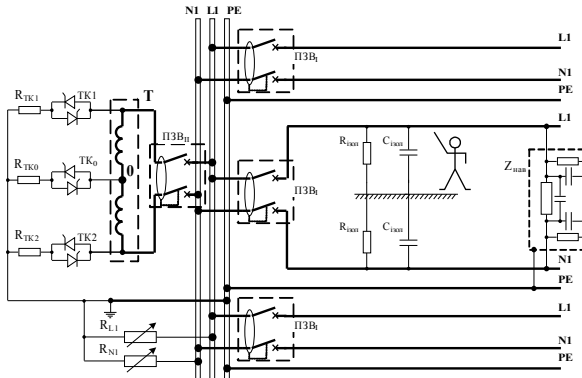


Рис.10. Однофазна схема електропостачання комунально-побутових споживачів. ПЗВ<sub>I</sub> – пристрої захисного вимкнення I-го ступеня захисту, ПЗВ<sub>II</sub> – пристрої другого ступеня

Підвищення рівня електробезпеки в схемі планується досягти за рахунок максимально швидкого шунтування опору тіла людини, що доторкнулась до струмовідної частини, відповідним тиристорним ключем (TK1 чи TK2). Сигналом для спрацювання тиристорного ключа, може бути зміна потенціалу середньої точки 0 обмотки живлення трансформатора Т в комбінації з фазою напруги цієї точки по відношенню до фази напруги живлення трансформатора (для ідентифікації аварійного проводу).

На рис. 11 наведені параметри дії електрики на людину під час дотику до проводу L1 за умови роботи TK1, який шунтує тіло людини, що доторкнулась до проводу. Досягнуто суттєве зменшення значення напруги дотику, струму крізь тіло людини і тривалості їх дії.

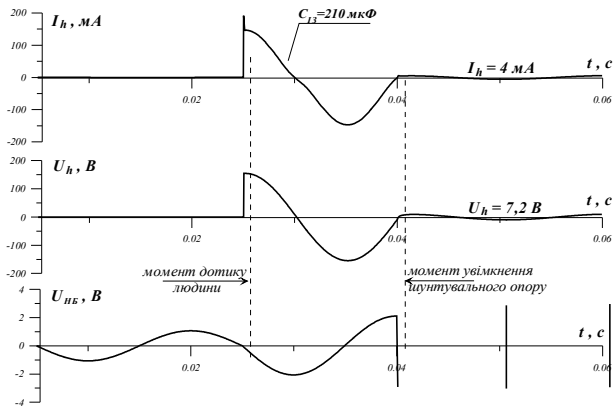


Рис. 11. Параметри дії електрики на людину під час дотику до проводу L1 за умови роботи ТК1 ( $Z_h=1,1$  кОм,  $C_{L1}=210$  мкФ)

Зони захисту від ураження електричним струмом в запропонованій мережі наведені на рис. 12.

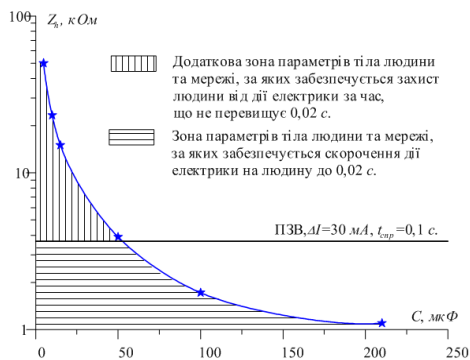


Рис. 12. Зони захисту від ураження електричним струмом в мережі з підвищеним рівнем електробезпеки (рис. 10)

Альтернативним методом одержання безпечної електричної мережі є застосування параметричного безінерційного увімкнення послідовно з тілом людини додаткового опору. Для реалізації методу були вирішені такі задачі:

1. Аналіз параметрів наявного електрообладнання, з точки зору використання в запропонованих технічних рішеннях.
2. Синтез математичної моделі ураження, яка складається з моделі джерела ураження (запропонованих схем) та моделі тіла людини.
3. Дослідження за допомогою математичної моделі ураження впливу параметрів мережі на параметри дії електричного струму на людину.
4. Оптимізація параметрів мережі за критерієм мінімальних значень напруг дотику людини.

Кожна з розглянутих раніше можливостей, а саме: швидкодійне шунтування, та параметричне увімкнення послідовно з тілом людини додаткового опору, має свої переваги та недоліки.

Пропонується об'єднання переваг обох методів. В схемі безпечної комунально-побутової мережі (рис. 13) застосований швидкодійний контактор К (наприклад, тиристорний ключ) та послідовний трансформатор ПТ, як у схемі на рис. 9. Контактор керується потенціалом обмотки трансформатора ПТ, увімкненої послідовно з нейтральним проводом N. Контактор К не повинен спрацьовувати в максимальному режимі навантаження, коли на обмотці трансформатора найбільший спад напруги не перевищує 2-3% номінальної напруги обмотки. Поява напруги на рівні 4-5%  $U_{ном}$  – достатня умова для спрацювання контактора К.

Параметри дії на уражену людину, в схемі рис.13, наведені на рис. 14.

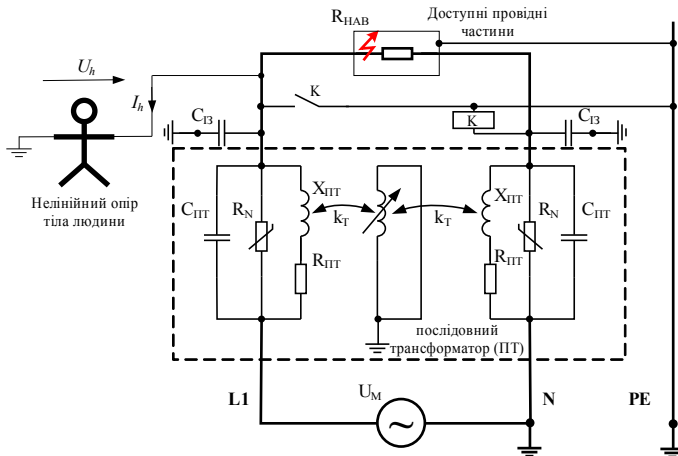


Рис. 13. Структурна схема моделі безпечної комунально-побутової електромережі

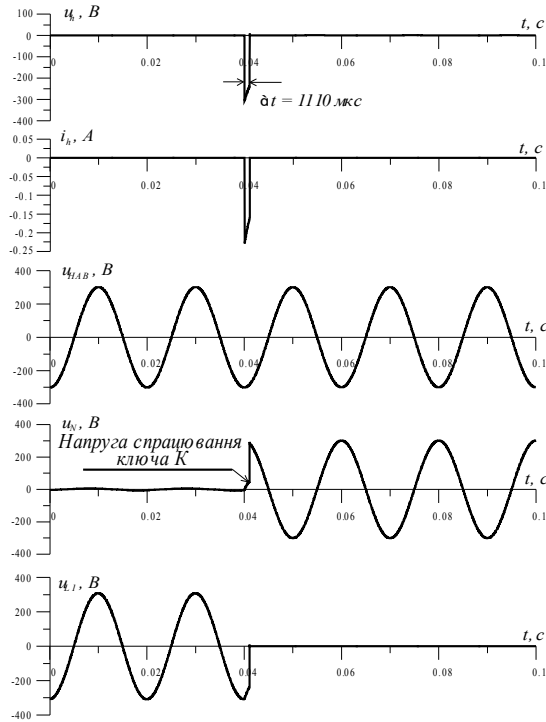


Рис. 14. Параметри режиму за умови дотику людини до струмовідної частини (напряга мережі 220 В, ємність  $C_{ПТ}=2,75/2$  мкФ)

В перший момент дотику, на тіло людини діє практично прямокутний імпульс  $u_h$ , амплітуда якого залежить від моменту дотику. Максимальне значення  $u_h$  може досягти амплітуди номінальної напруги мережі. Відповідно крізь тіло людини проходить прямокутний імпульс струму  $i_h$ . Під дією цього імпульсу, в трансформаторі ПТ виникає магнітний потік, що обумовлює зріст потенціалу  $u_N$  обмотки ПТ. Після досягнення потенціалом  $u_N$  значення, за якого контактор К спрацьовує, тіло людини шунтується ним і напруга  $u_h$ , а відповідно і струм  $i_h$ , зникають. Тривалість дії напруги на тіло людини не перевищує 1110 мкс. Це на декілька порядків менше тривалості дії напруги на тіло людини в типових схемах.

Відмова від встановлення ємності  $C_{ПТ}$  в схемі рис. 13, як показали математичні експерименти, дозволяє скоротити час дії напруги  $U_h$  на тіло людини до 10-20 мкс.

## ВИСНОВКИ

У дисертації вирішена задача створення безпечних умов взаємодії людини з ЕУ змінної напруги шляхом нормування для

аварійних режимів гранично допустимих напруг дотику, за яких не виникають необоротні процеси руйнування тканин тіла і травмування організму, а для випадків безпосереднього дотику до струмовідних частин в нормальному режимі роботи ЕУ – шляхом швидкодійсного шунтування тіла людини або (та) параметричного безінерційного увімкнення послідовно з опором тіла людини додаткового опору.

Основні наукові результати, висновки і рекомендації полягають в наступному:

1. Для вирішення проблеми електробезпеки, необхідне розроблення нової нормативної бази, з умов запобігання шкідливої дії електричного струму, та засобів і заходів дотримання вимог нових нормативів з прийнятними техніко-економічними показниками.

2. Доведено, що зі збільшенням частоти опір тіла для певного значення напруги дотику зменшується; характер опору тіла в діапазоні частот 0-20 Гц – резистивно-ємнісний; дія струмів інфранизьких частот не відрізняється принципово від дії струмів промислової частоти.

3. Вперше доведено, що зсув по фазі амплітуди струму по відношенню до амплітуди напруги за частот менше 1 Гц, обумовлений різними швидкостями зміни значення прикладеної напруги та значення активного опору тіла людини. За частоти 50 Гц це явище обумовлює поступове збільшення амплітуди струму через тіло людини за незмінного значення прикладеної напруги.

4. Доведено, що ВАХ на постійній напрузі збігаються з побудованими за амплітудними значеннями ВАХ тіла людей, знятими на змінній напрузі з частотою до 1 Гц, що дозволяє визначати параметри нелінійності резисторів узагальної моделі тіла людини за параметрами нелінійності ВАХ на постійній напрузі.

5. Одержані, допустимі за умовою запобігання травмування людини, значення напруг дотику значно менші від прийнятих, як допустимі, в державних і міжнародних нормативах.

6. Вперше доведено, що імовірність виникнення необоротного процесу за однакового значення напруги дотику в ЕУ змінної напруги нижча, ніж в ЕУ постійної напруги, що дозволяє стверджувати про залежність розрахункового механізму ураження від частоти джерела ураження. Розрахункові механізми ураження для ЕУ з частотою більшою за 50 Гц потребують подальшого обґрунтування.

7. Доведено, що створення безпечних умов взаємодії людини з ЕУ змінної напруги у випадку безпосереднього дотику до струмовідних частин в нормальному режимі роботи ЕУ можливо шляхом швидкодійсного шунтування тіла людини або (та) параметричного безінерційного увімкнення послідовно з опором тіла людини додаткового опору.

8. Вперше обґрунтований метод керування швидкодійним пристроєм шунтування тіла ураженої людини в побутових ЕУ, завдяки цьому пристрою вдалося на порядок скоротити час дії напруги на тіло людини порівняно з типовими вирішеннями згідно з рекомендаціями МЕК.

9. Вперше запропоновано спосіб параметричного безінерційного увімкнення у випадку безпосереднього дотику до струмовідних частин послідовно з тілом людини додаткового опору та пристрій для його реалізації у вигляді трансформатора з малим струмом намагнічення.

10. Експериментально визначені значення ємності відносно «землі», для основних побутових ЕП. Отримані розрахункові значення ємності для квартири, поверху, під'їзду, будинку. З'ясований зв'язок між умовами захисту людини у випадку безпосереднього дотику до струмовідних частин та значенням результуючої ємності мережі відносно «землі» у схемах з підвищеним рівнем електробезпеки.

11. Синтезові варіанти схем електричної мережі змінного струму до 1000 В з підвищеним рівнем електробезпеки. Запропоновані рекомендації з вибору визначальних параметрів типових мереж, за яких напруги дотику не будуть перевищувати рекомендовані в цій роботі значення.

12. Результати досліджень використані у сформованій і впровадженій в навчальний процес дисципліні «Теорія і практика електробезпеки» напряму «Електротехніка та електротехнології» в Національному університеті «Львівська політехніка» та напряму «Електроенергетика» в Придністровському державному університеті ім. Т.Г.Шевченка, а також навчально-тренувальним центром з охорони праці ВАТ «Західенерго». Результати досліджень використані під час реконструкцій електричних мереж у м. Тирасполь.

## ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Научные основы (теория) электробезопасности: Монография / Малиновский А.А., Никонец Л.А., Радченко В. Н. и др. / Под ред. Никонца Л.А. – Львов: НВФ «Українські технології», 2008. – 244 с.

2. Никонец Л.О., Шелех Ю.Л., Радченко В.М. Комунально-побутова електрична мережа з підвищеним рівнем електробезпеки // Новини енергетики. – 2007. – № 2. – С. 29 - 35.

3. Никонец Л.О., Малиновський А.А., Голубов С.В., Радченко В.М. Імовірнісна модель тіла людини для сертифікації електроустановок за умовами електробезпеки // Энергетика и электрификация. – 2007. – № 5. – С. 55 - 58.

4. Малиновський А.А., Никонец Л.О., Шелех Ю.Л., Радченко В.М. Допустимі напруги дотику в аварійних режимах електроустановок змінної напруги промислової частоти за умовою запобігання травмування тіла людини // Новини енергетики. – 2007. – № 10. – С. 29 - 33.

5. Никонец Л.О., Шелех Ю.Л., Радченко В.М. Заходи та засоби запобігання необоротним процесам в тілі людини у випадку посереднього дотику до електро-установок // Новини енергетики. – 2008. – № 2. – С. 49 - 52.



6. Малиновський А.А., Никонець Л.О., Олійник М.Й., Мальцева Н.Г., Шелех Ю.Л., Радченко В.М. Теоретичні засади побудови узагальноної моделі тіла людини, як елемента електричного кола // Новини енергетики. – 2008. – № 5. – С. 41 - 46.

7. В.М.Радченко, Ю.Л.Шелех. Методика вибору кількості трансформаторів живлення мережі з підвищеним рівнем електробезпеки // Новини енергетики.–2008. – №11. с.32-35.

8. Радченко В.Н. Условия безопасного прикосновения человека к токоведущим частям в нормальном режиме работы электроустановки / А. А. Малиновский, Л. А. Никонец, В. Н. Радченко // материалы 3 - й международной научно-практической конференции «Региональные особенности развития машино – и приборостроения, информационных технологий, проблемы и опыт подготовки кадров», 26 - 28 апреля 2006 г., г. Тирасполь. – ПГУ, 2006. – С. 153 - 156.

9. Радченко В.Н. Электрическая сеть с повышенной безопасностью в зависимости от параметров компенсирующих устройств / А. А. Малиновский, В. Н. Радченко // материалы 3 - й международной научно-практической конференции «Региональные особенности развития машино – и приборостроения, информационных технологий, проблемы и опыт подготовки кадров», 26 - 28 апреля 2006 г., г. Тирасполь. – ПГУ, 2006. – С. 156 - 160.

10. Радченко В.Н. Предлагаемые схемы безопасной бытовой сети / Л. А. Никонец, В. Н. Радченко // материалы 3 - й международной научно-практической конференции «Региональные особенности развития машино – и приборостроения, информационных технологий, проблемы и опыт подготовки кадров», 26 - 28 апреля 2006 г., г. Тирасполь. – ПГУ, 2006. – С. 156 - 160.

11. Радченко В.Н. Мероприятия и средства предотвращения необратимых процессов в теле человека в случае непосредственного прикосновения к электроустановкам, которые выполнены по стандартам МЭК / В. Н. Радченко // материалы Республиканской научно-практической конференции, 21 мая 2009 г., г. Бендеры. – 2009 г. – С. 71 - 74.

12. Допустимые напряжения прикосновения в аварийных режимах работы электроустановок переменного напряжения промышленной частоты по условию предотвращения травмирования тела человека для продолжительности действия до 1 с

/ В. Н. Радченко // материалы Республиканской научно-практической конференции, 21 мая 2009 г., г. Бендеры. – 2009г. – С. 91- 94.

13. Экспериментальные исследования действия токов инфранизких частот на тело человека / В. Н. Радченко // материалы Республиканской научно-практической конференции, 21 мая 2009 г., г. Бендеры. – 2009г. – С. 343 - 349.

14. Радченко В.Н. Экспериментальные исследования действия токов инфранизких частот на тело человека / В. Н. Радченко // Материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава ПГУ им. Т. Г. Шевченко. 26 января 2008 г., г. Тирасполь. – ПГУ, 2008.

15. Радченко В.Н. Теоретические основы построения обобщенной вероятностной модели тела человека / В. Н. Радченко // Материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава ПГУ им. Т. Г. Шевченко. 26 января 2008 г., г. Тирасполь. – ПГУ, 2008.

## АНОТАЦІЯ

**Радченко В. М. Обґрунтування та забезпечення допустимих значень напруг дотику в електроустановках змінного струму. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – «Охорона праці», Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2010.

Дисертація присвячена обґрунтуванню та забезпеченню допустимих значень напруги дотику в електроустановках змінного струму.

Теоретичні основи кардинального зниження електротравматизму, запропоновані Маліновським А. А., вимагають розроблення методів визначення нормативів електробезпеки з умов запобігання необоротним процесам травмування організму людини та засад синтезу схемно-технічних вирішень безпечних електроустановок за критерієм гранично допустимих напруг дотику.

У дисертації вирішена задача створення безпечних умов взаємодії людини з електроустановками змінної напруги шляхом нормування для аварійних режимів гранично допустимих напруг дотику, за яких не виникають необоротні процеси руйнування тканин тіла і травмування організму в поєднанні з нормуванням допустимого співвідношення опору струмовідного провідника до еквівалентного опору захисного провідника. Для випадків безпосереднього дотику до струмовідних частин в нормальному режимі роботи електроустановок – шляхом швидкодійного шунтування тіла людини або (та) параметричного безінерційного увімкнення послідовно з опором тіла людини додаткового опору.

**Ключові слова:** електробезпека, гранично допустима напруга дотику, електроустановка, математична модель, трансформатор, синтез, концепція.

## АННОТАЦИЯ

Радченко В. Н. «Обоснование и обеспечение допустимых значений напряжения прикосновения в электроустановках переменного тока». – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 – «Охрана труда». Национальный горный университет, Днепропетровск, 2010.

Диссертация посвящена обоснованию и обеспечению допустимых значений напряжения прикосновения в электроустановках переменного тока.

В диссертации решена важная научная и практическая задача создания безопасных условий взаимодействия человека с электроустановками переменного напряжения путем нормирования для аварийных режимов предельно допустимых значений напряжения прикосновения при которых не возникают необратимые процессы разрушения тканей тела и травмирование организма, а для случаев непосредственного прикосновения к токоведущим частям в нормальном режиме работы электроустановок – путем быстродействующего шунтирования тела человека или (и) параметрического безынерционного включения последовательно с сопротивлением человека дополнительного сопротивления.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что параметры электрических действий, по реальным смертельным поражениям, значительно ниже допустимых по действующим нормативным документам. Это обусловлено нормированием допустимых кратковременных действий по по одному из возможных путей.

Теоретические основы кардинального снижения уровня электротравматизма, предложенные Малиновским А.А., предусматривают обоснование новой концепции, которая требует разработки методов определения нормативов элетробезопасности по условиям предотвращения необратимых процессов и травмирования организма человека, а также законов синтеза схемно-технических решений безопасных электроустановок по критерию предельно допустимых значений напряжения прикосновения.

В диссертации проведены опыты по исследованию электрофизических свойств тела человека в диапазоне частот от 0 до 20 Гц. Результаты экспериментальных исследований подтверждают, что сопротивление тела человека в данном диапазоне частот имеет активно-емкостный характер. По результатам исследований на инфранизких частотах, сформирована математическая модель тела человека. Опыты с использованием разработанной модели показали, что действующие критерии электробезопасности по допустимым значениям напряжений прикосновения и токов сквозь тело человека не согласованы между собой. На основании полученных результатов, предложен проект изменения нормативов на предельно допустимые значения напряжений прикосновения для продолжительности действия свыше 1с.

По данным математического эксперимента на модели, исследована зависимость вероятности возникновения необратимых процессов в теле человека от значения напряжения прикосновения в аварийном режиме работы ЭУ, для продолжительности действия до 1 сек.. Полученные, допустимые по условию предотвращения необратимых процессов травмирования организма человека, напряжения значительно меньше от принятых, как допустимые, в государственных и международных нормативах.

Взамен нормативов ГОСТ 12.1.038-82, для ЭУ постоянного и переменного тока, предлагается проект нормативов, приведенный в диссертации.

Обоснованы допустимые соотношения значений сопротивлений токоведущих проводников к эквивалентному сопротивлению защитных проводников, для действующих систем заземления электроустановок переменного напряжения и действующей шкалы номинальных напряжений, при которых напряжения прикосновения не превышают рекомендованных в работе значений..

Проведен синтез схемно-технических решений ЭУ напряжением до 1000 В по условиям их безопасной эксплуатации в аварийном и нормальном режимах работы.

Исследованы электрические сети выполненные по стандартам МЭК, стандартам США и Японии а также сети с повышенным уровнем ЭБ.

В результате исследований, определены значения расчетной емкости бытовой электрической сети, которые являются базой для формулирования требований к схемам и параметрам элементов бытовой электрической сети с гарантированным уровнем электробезопасности. При помощи цифрового комплекса проведены исследования нестационарных процессов в электрической сети.

Предложены для внедрения схемы с повышенным уровнем электробезопасности, в которых, для обеспечения безопасных условий взаимодействия человека с электроустановками переменного напряжения, применены:

- метод управления быстродействующим устройством шунтирования тела пораженного человека в бытовых электроустановках;
- метод параметрического безынерционного включения последовательно с сопротивлением человека дополнительного сопротивления и устройство для реализации метода в виде трансформатора с малым током намагничивания и быстродействующего контактора, шунтирующего тело человека.

Результаты исследований использованы в сформированной и введенной в учебный процесс дисциплине "Теория и практика электробезопасности" направления „Электротехника и электротехнологии” в Национальном университете „Львівська політехніка” и направления „Электроэнергетика” в Приднестровском государственном университете

им. Т.Г.Шевченко. Результаты исследований используются учебно-тренировочным центром по охране труда ОАО „Западэнерго”.  
Результаты исследований использованы во время реконструкций электрических сетей в г. Тирасполе.

Ключевые слова: электробезопасность, предельно допустимые напряжения прикосновения, электроустановка, математическая модель, трансформатор, синтез, концепция.

### **ABSTRACT**

Radchenko V. M. Motivation and provision of possible importances of the voltages of touch in electroinstallation variable toka. - a Manuscript.

The Thesis on reception scientific degree candidate of the technical sciences on professions 05.26.01 - "Guard of the labour", National mountain university, Dnepropetrovsk, 2010.

The Thesis is dedicated to motivation and provision of possible importances of the voltage of touch in electroinstallation of alternating current.

Teoretieskie bases of the cardinal reduction level electrotrauma, offered Malinovskim A.A., provide the motivation new concepts, which requires the development of the methods of the determination standard electrosafety under the provisions of preventions of the inconvertible processes and traumatize organism of the person, as well as laws of the syntheses circuital-technical decisions safe electroinstallation on criterion at most possible importances of the voltage of touch.

In theses is solved problem of the making the safe conditions of the interaction of the person with electroinstallations of the variable voltage by by standartizations for emergency mode at most possible voltages of touch, under which do not appear the inconvertible processes of the destruction of the fabric body and traumatize organism in association with standartization of the possible correlation of the resistance currentleading conductor to equivalent resistance of the defensive conductor. For events direct touch to токоведущим parts in normal state of working electroinstallation - a way high-speed bypass bodies of the person or (and) parametric withoutinertia cutin with resistance of the body of the person of the additional resistance consecutively.

The Keywords: electrosafety, at most possible voltage of touch, electroinstallation, mathematical model, transformer, syntheses, concept.