

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ „ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Ю.Л. Шелех, М.Б. Сабат, С.І. Качан

**ПРОФЕСІЙНА ТА ЦИВІЛЬНА
БЕЗПЕКА
(ЧАСТИНА 1 – ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА)**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Львів-2023

УДК 620.9:331.4; 620.9:331.34; 620.9:658.34

Б 918

*Рекомендовано Науково-методичною радою
Національного університету „Львівська політехніка”
як навчальний посібник для студентів спеціальності:
141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
вищих навчальних закладів України
(протокол № 4/2023 від 17 травня 2023 р.)*

Рецензенти:

- Нагурський О.А.** д.т.н., професор, завідувач кафедри цивільної безпеки Національного університету «Львівська політехніка»
- Голубов С.В.** к.т.н., начальник регіонального центру охорони праці і промислової безпеки у Західному регіоні департаменту промислової безпеки НЕК "Укренерго"
- Гречин Т.М.** доцент, к.т.н., інженер-програміст з архітектури програмного забезпечення ТзОВ "Елекс"

Шелех Ю.Л., Сабат М.Б., Качан С.І.

Професійна та цивільна безпека (частина 1 – Електробезпека): навчальний посібник – Львів: Видавництво ПП «Новий Світ-2000», 2023. – 227 с.

ISBN 978 – 966 – 418 – 385 – 4

Навчальний посібник пропонує вивчення професійної безпеки для енергетиків, а саме електробезпеки як системи засобів і заходів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електромагнітного поля і статичної електрики. Такий підхід до професійної безпеки органічно поєднує дві складові: - систему поглядів, підходів, теорій, завданням якої є визначення кількісних значень допустимих параметрів шкідливих і небезпечних електричних дій для будь-якого збігу умов і обставин ураження; - систему технічних і організаційних заходів, що забезпечує обмеження можливих електричних дій до допустимих значень.

ISBN 978 – 966 – 418 – 385 – 4

УДК 620.9:331.4; 620.9:331.34; 620.9:658.34

© Шелех Ю.Л., Сабат М.Б., Качан С.І., 2023

© ФОП Піча С.В., ПП «Новий Світ – 2000», 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	8
Розділ – 1. СТАН І ПРОБЛЕМИ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ. ПРАВОВІ АСПЕКТИ ЗАХИСТУ ЛЮДИНИ ВІД УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ.....	9
1.1. Аспекти і завдання електробезпеки	9
1.2. Статистика електротравматизму	11
1.3. Стан електробезпеки в Україні	16
1.4. Світова практика електробезпеки.....	17
1.5. Гранично допустимі рівні напруг дотику і струмів.....	19
1.6. Правові аспекти захисту людини від ураження електричним струмом. концепція підвищення рівня безпеки	22
1.7. Концепція підвищення рівня електробезпеки.....	23
Розділ – 2. НОРМАТИВНА БАЗИ УКРАЇНИ З ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ	28
2.1. Загальні питання щодо організації безпечних умовкористувача електроустановки	28
2.2. Вимоги діючих законодавчих та нормативно-правових документів щодо забезпечення безпечних умов праці при роботі з використанням електроустановок.....	29
2.3. Напрями подальших досліджень з проблем електробезпеки	33
Розділ – 3. ЗАГАЛЬНІ ЗАХОДИ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ У ВИКОРИСТАННІ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК.....	35
3.1. Види, типи та характеристики електроустановок.....	35
3.2. Причини ураження електричним струмом при роботі з електроустановками.....	38
3.3. Особливості дії електричного струму на організм людини	43
Розділ – 4. ПРАКТИКА ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ПРАВИЛ УЛАШТУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК	55
4.1. Терміни й означення	55
4.2. Системи мереж низької напруги.....	59
4.2.1. Система TN.....	59
4.2.2. Система TT	61
4.2.3. Система IT	62
4.3. Технічні способи та засоби захисту працюючих від ураження електричним струмом.....	62
4.4. Основний захист	80

4.5. Застосування огорожі чи обудови	81
4.6. Встановлення бар'єрів.....	82
4.7. Розташування поза зоною досяжності	82
4.8. Додатковий захист	83
4.9. Автоматичне вимкнення живлення в системі TN.....	90
4.10. Автоматичне вимкнення живлення в системі TT.....	97
4.11. Автоматичне вимкнення живлення в системі IT	101
4.12. Вирівнювання потенціалів.....	105
Розділ – 5. ДІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ... ..	110
5.1. Особливості електротравматизму	110
5.1.1. Види електротравм	113
5.1.2. Значення напруг ураження	119
5.1.3. Значення струмів ураження	122
5.1.4. Вплив стану організму на дію струму і наслідки ураження..	128
5.2. Критерії електробезпеки	130
5.2.1. Кількісні характеристики критеріїв електробезпеки.....	132
Розділ – 6. БЕЗПЕЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ	136
6.1. Теоретичні передумови безпечних методів дослідження електричних властивостей організму людини	136
6.2. Експериментальні дослідження дії змінного струму.....	137
6.2.1. Параметри відчуття дії струму	137
6.2.2. Вольтамперні характеристики тіла людини в діапазоні дій, обмеженому напругою відчуття.	140
6.2.3. Вольтамперні характеристики тіла людини за дослідними даними у безпечному діапазоні електричних дій.	141
6.3. Експериментальні дослідження дії постійного струму	148
6.3.1. Амперсекундні характеристики тіла людини на постійній напрузі.....	149
6.3.2. Вплив кумулятивного ефекту на виникнення лавини струму в тілі під дією постійної напруги.	161
Розділ – 7. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ З ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ.....	166
7.1. Теоретичні засади синтезування моделі тіла людини як елемента електричного кола.....	166
7.2. Модель тіла людини для умов нормального режиму електроустановок	168

7.2.1. Синтезування і тестування моделі тіла людини.	169
7.3. Модель тіла людини для умов аварійних режимів електроустановок	171
7.4. Метод моделювання необоротних процесів в тілі людини.....	172
7.5. Вплив площі дотику електродів на виникнення лавини струму в тілі людини	175
7.6. Механізм одержання людиною місцевої електротравми	177
7.7. Умови виникнення необоротних явищ в тілі людини під дією змінної напруги	179
7.8. Аналіз необоротних процесів в тілі людини на змінній напрузі.....	181
7.9. Оцінка дії електричного струму на нервову систему людини.....	187
7.9.1. Взаємозв'язок і взаємообумовленість факторів ураження людини електричним струмом	188
Розділ – 8. ЗАСАДИ СИНТЕЗУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ.....	194
8.1. Критеріальні вимоги до електроустановок з підвищеним рівнем електро- і пожежобезпеки	194
8.2. Функційно-структурний принцип обмеження струмів короткого замикання (виконання критеріальних вимог 1 і 3)	197
8.3. Функційно-структурний принцип обмеження напруги дотику (виконання критеріальної вимоги 2)	198
8.4. Методи та засоби запобігання необоротних процесів в тілі людини в аварійних режимах електроустановок, виконаних за стандартами МЕК.....	199
8.5. Методи та засоби запобігання необоротних процесів в тілі людини в аварійних режимах електроустановок, виконаних за стандартами США і Японії	201
8.6. Комунально-побутова електрична мережа з підвищеним рівнем електробезпеки за рахунок параметричного безінерційного включення послідовно з джерелом ураження людини додаткового опору	202
8.7. Синтез технічних рішень електроустановок напругою до 1000 В за умовами їх безпечної експлуатації в нормальному режимі під час безпосереднього прямого дотику людини до струмовідних частин.....	203
8.7.1. Порівняльний аналіз електробезпеки мереж, виконаних за стандартами МЕК і по стандартам США і Японії	204

8.7.2. Аналіз ефективності існуючих схем з підвищеним рівнем безпеки	205
8.8. Метод управління швидкодіючим пристроєм шунтування тіла ураженої людини	208
8.9. Метод параметричного безінерційного ввімкнення послідовно з тілом людини додаткового опору	214
8.10. Безпечна електрична мережа з номінальною напругою до 1000 В.....	216
8.11. Схеми електроустановок з підвищеним рівнем електро- і пожежобезпеки.....	219
8.11.1. Схеми електроустановок з номінальною напругою до 1000 В.....	219
8.11.2. Схеми електроустановок з номінальною напругою 6-10 кВ	221
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	224

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВРУ – відкрите розподільче устаткування.

ГЗШ – головна заземлювальна шина.

ГЕ – група з електробезпеки, видається після здачі кваліфікаційного екзамену.

ЕУ – електрична установка.

ЕОМ – електронна обчислювальна машина. ЕМІБ – електромагнітний імпульс блискавки. ЗА – захисний апарат.

ЗРУ – закрите розподільче устаткування. ЗП – запобіжник плавкий

КЗ – коротке замикання.

К.К.Д. – коефіцієнт корисної дії.

КЛ – кабельна лінія електропередачі.

L_1, L_2, L_3 – лінійний (фазний) провідник.

М-провідник – провідник середньої точки, який електрично з'єднаний з середньою точкою джерела живлення і використовується для розподілення електричної енергії.

ПЗ – переносне заземлення.

ПЛ – повітряна лінія електропередачі.

ПУЕ – правила улаштування електроустановок. ПЗВ – пристрій захисного вимкнення.

РБЗ – рівні блискавкозахисту. РУ розподільче устаткування.

N-провідник – нейтральний провідник.

РЕ-провідник – захисний провідник в електроустановках, призначений для захисту від ураження електричним струмом.

PEN-провідник – провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, який поєднує в собі функції захисного (РЕ) і нейтрального (N) провідників.

ВСТУП

Професійна та цивільна безпека – це комплексна дисципліна, що поєднує професійні складові та цивільний захист. Так як для енергетиків основним джерелом небезпек є електричний струм у електричних системах і мережах, то і в професійній безпеці варто особливу увагу звернути саме на електробезпеку, що і зроблено в даному посібнику.

Актуальністю вивчення дисциплін «Електробезпека» є забезпечення майбутніх фахівців методичними основами електробезпеки при виконанні робіт на електричних установках, а також оволодіння ними методами виявлення потенційних джерел небезпеки та захисту від дії на людину електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики.

Електробезпека – багатofакторна, багатокритеріальна проблема, яка розв'язується на різних ієрархічних рівнях на стадії проектування, виготовлення, монтажу, налагодження, випробування і експлуатації електроустаткування, електричних мереж і їх окремих елементів. Електробезпека повинна забезпечуватися: - конструкцією електроустановок; - технічними способами і засобами захисту; - організаційними і технічними заходами. Електроустановки та їх частини повинні відповідати вимогам електробезпеки, тобто повинні бути виконані таким чином, щоб працюючі не зазнавали небезпечної і шкідливої дії електричного струму. Нормативну основу електробезпеки становить система стандартів з електробезпеки, як підсистема стандартів безпеки праці. На основі чинних стандартів розробляють галузеві правила (ПУЕ, ПТБ, ПТЕ), технічні умови і стандарти на окремі види устаткування. Зміст кожного з названих документів повинен відповідати сучасному рівню розуміння конкретної проблеми, що базується на результатах наукових досліджень, досвіді проектування, експлуатації, статистичних даних з електротравматизму.