

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Навчально-науковий інститут енергетики і автоматики  
Науково-дослідний інститут електроенергетичних систем

**ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ  
НА ОСНОВІ  
СМАРТ-СПЛАВІВ З ПАМ'ЯТТЮ ФОРМИ**

В.В. Козирський, В.В. Каплун

Київ – 2010

ЗМІСТ	Стор.
ПЕРЕДМОВА	4
РОЗДІЛ 1. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СМАРТ-СПЛАВІВ З ПАМ'ЯТТЮ ФОРМИ В ЕНЕРГЕТИЦІ	6
РОЗДІЛ 2. ЯВИЩА ЕФЕКТІВ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ І НАДПРУЖНОСТІ. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СПЛАВІВ	19
2.1. Сплави з ефектами пам'яті форми та надпружності	19
2.1.1. Загальні положення	19
2.1.2. Фізичні властивості та основні характеристики сплавів з ЕПФ	20
2.1.3. Методи визначення температури точок фазових перетворень у сплавах з ЕПФ	26
2.1.4. Серійні сплави з ЕПФ та їх особливості і характеристики	29
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПІВ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЯВИЩА ЕФЕКТУ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ	38
3.1. Методи та засоби контролю температурного режиму електроустановок систем електропостачання	38
3.1.1. Контроль температурного режиму контактних з'єднань електроустановок	39
3.1.2. Термореле для контролю температури електроустановок	41
3.2. Обґрунтування принципів контролю температури контактних з'єднань на основі використання явища ефекту пам'яті форми	43
3.3. Обґрунтування принципів захисту електроустановок від коротких замикань та перевантажень на основі явища ефекту пам'яті форми	48
3.3.1. Особливості властивостей сплавів з ефектом пам'яті форми при прямому нагріванні електричним струмом	48
3.3.2. Обґрунтування технічних принципів запобіжників з термомеханічним руйнуванням вставки	52
3.3.3. Обґрунтування технічних принципів виконання приводних	54

елементів розчіплювачів автоматичних вимикачів	
3.3.4. Математичне моделювання параметрів та характеристик запобіжників з термомеханічним руйнуванням вставки	60
3.3.5. Математичне моделювання параметрів та характеристик універсальних розчіплювачів автоматичних вимикачів	74
3.3.6. Моделювання параметрів та характеристик термочутливих елементів термореле	77
<b>РОЗДІЛ 4. РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ У КОНТАКТНИХ СИСТЕМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЯВИЩ ЕФЕКТІВ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ ТА НАДПРУЖНОСТІ</b>	<b>84</b>
4.1. Аналіз електротеплових процесів у розбірних контактних системах	84
4.1.1. Теоретичні основи розбірних контактів	84
4.1.2. Аналіз залежностей температури нагрівання та перехідного опору розбірного контактного з'єднання у режимі довготривалого електричного навантаження	90
4.1.3. Особливості тепломеханічних процесів при нагріванні розбірних контактних систем струмами короткого замикання	95
4.1.4. Аналіз принципів стабілізації контактного тиску в розбірних контактних системах	99
4.1.5. Динамічне управління тиском контактних систем з використанням ефектів пам'яті форми та надпружності	104
4.1.6. Моделювання електротеплових та електромеханічних процесів у розбірному контактному з'єднанні при наявності пристроїв управління тиском із сплаву з ЕПФ та ЕНП	108
4.1.7. Аналіз електротеплових процесів у розбірних контактних системах з урахуванням росту оксидних плівок	118
4.1.8. Моделювання параметрів та характеристик пристроїв управління тиском розбірних контактів	123
4.2. Математичне моделювання електротеплових та електромеханічних процесів у роз'ємних контактних системах при проходженні струмів	128

короткого замикання	
4.2.1. Роз'ємні контактні системи та їх режими роботи	128
4.2.2. Нагрівання контактних комутаційних систем струмами короткого замикання	130
4.2.3. Електромеханічні процеси у контактній системі при проходженні струмів короткого замикання	132
4.2.4. Принципи компенсації електродинамічних сил у контактних комутаційних системах	136
4.2.5. Математичне моделювання температури площадки контактування у комутаційній контактній системі, обладнаній активними стабілізаторами тиску	138
4.2.6. Математичне моделювання електромеханічних процесів у контактних з'єднаннях з вмонтованими активними термостабілізаторами тиску	141
РОЗДІЛ 5. ОБГРУНТУВАННЯ ГРАНИЧНИХ ТЕРМІНІВ ПРОЦЕСУ СТАРІННЯ РОЗБІРНИХ КОНТАКТІВ ЗА УМОВ НЕПОВНОТИ ВИХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	145
5.1. Загальні положення	145
5.2. Обґрунтування параметрів контролю стану та прогнозування процесу старіння контактів розбірного типу	146
5.3. Аналіз чутливості перехідного опору контактного з'єднання розбірного типу до зміни вихідних факторів	148
5.4. Обґрунтування термінів ремонтних робіт та прогнозування строків служби контактів розбірного типу за умов неповноти вихідної інформації	154
РОЗДІЛ 6. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ ТЕРМОЧУТЛИВИМИ ПРИСТРОЯМИ З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ	162
6.1. Основні вимоги до засобів контролю стану КЗ	162

6.2. Обґрунтування застосування сплавів з ефектом пам'яті форми для термочутливих елементів засобів вимірювання температури контактних з'єднань	163
6.3. Розробка вказівника перегрівання для неперервного контролю стану КЗ	167
6.4. Дослідження термомеханічних характеристик термочутливих елементів на основі сплаву з ЕПФ	172
6.5. Лабораторні дослідження об'єкта "контактне з'єднання – вказівники перегрівання"	176
6.6. Основні принципи реалізації експлуатаційного контролю контактних з'єднань сільських електроустановок	184
6.7. Математична модель оптимізації періодичності проведення експлуатаційного контролю стану КЗ	188
6.7.1. Побудова часової діаграми функціонування системи "КЗ– оператор"	188
6.7.2. Побудова графу станів. Спрощена напівмарківська модель	191
6.7.3. Побудова цільової функції	197
<b>РОЗДІЛ 7. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ TEMПЕРАТУРИ І ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ</b>	204
7.1. Загальні положення	204
7.2. Пристрої для контролю температурного режиму електроустановок	206
7.2.1. Вказівники перегрівання контактних з'єднань	206
7.2.2. Результати експериментальних випробувань вказівників перегрівання контактних з'єднань в експлуатаційній фірмі "Ontario Gidro", Канада	209
7.2.3. Пристрій автоматизованого контролю температури контактних з'єднань в електроустановках систем електропостачання	210
7.2.4. Термометри контактного типу	213

7.2.5. Термореле на основі сплаву з ЕПФ та їх експериментальні дослідження	215
7.3. Пристрої для керування тиском у розбірних контактних системах та особливості їх виробництва і випробування	220
7.4. Застосування сплавів з ефектом пам'яті форми для розширення функціональних можливостей захисних вимикаючих пристроїв	238
7.5. Підвищення надійності автогазових вимикачів	241
7.6. Підвищення надійності роз'ємних контактних систем	244
7.7. Деякі напрями підвищення експлуатаційного ресурсу розбірних контактних систем	246
<b>РОЗДІЛ 8. ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕРМОМЕХАНІЧНИХ ПРИВОДІВ</b>	<b>259</b>
8.1. Принципи побудови приводів на основі сплавів з ефектом пам'яті форми	259
8.2. Розробка конструкції електротермомеханічного приводу на основі ФС для споруд захищеного ґрунту	263
8.3. Дослідження електрофізичних параметрів сплаву з ефектом пам'яті форми	267
8.4. Використання приводів на основі сплавів з ефектом пам'яті форми у системах природної вентиляції споруд захищеного ґрунту	274
8.5. Моделювання термомеханічного зусилля приводного елемента зі сплаву з ефектом пам'яті форми	280
8.6. Моделювання характеристик елементів приводу при нагріванні електричним струмом	288
8.6.1. Моделювання параметрів стороннього електронагрівача	288
8.6.2. Моделювання температурного поля приводного елемента при прямому нагріванні електричним струмом	293
8.7. Експериментальне дослідження приводних елементів	302
8.7.1. Активація приводного елемента стороннім нагрівачем	302
8.7.2. Активація приводного елемента прямим електронагріванням	311

8.8. Експериментальні дослідження електротермомеханічного приводу	316
8.9. Виробничі випробування електротермомеханічного приводу	323
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	325