

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

О. Є. Рубаненко

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ
І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ
ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2012

УДК 621.316
ББК 65.305.142
Р49

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 11 від 30.06.2011 р.)

Рецензенти:

В. В. Назаров, доктор технічних наук, професор

В. М. Кутін, доктор технічних наук, професор

Рубаненко, О. Є.

Р49 Вдосконалення методів і засобів діагностування високовольтних вимикачів : монографія / О. Є. Рубаненко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 188 с.

ISBN 978-966-641-496-3

В монографії розглянуто призначення, класифікацію, технічні характеристики високовольтних вимикачів. Виконано короткий аналіз використання цих вимикачів. Проведено дослідження причин пошкоджуваності та визначено діагностичні параметри. Показано основні методи випробувань, контролю параметрів та визначення стану вимикачів на їх основі.

Книга розрахована на фахівців з діагностування та випробувань високовольтних вимикачів. Може використовуватись студентами, аспірантами та інженерно-технічним працівникам, які обслуговують розподільні установки високої і надвисокої напруги.

УДК 621.316
ББК 65.305.142

ISBN 978-966-641-496-3

© О. Рубаненко, 2012

ЗМІСТ

	Список умовних скорочень.....	6
	Вступ.....	7
1	ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1	Дослідження стану високовольтних вимикачів.....	12
1.2	Класифікація високовольтних вимикачів.....	15
1.3	Особливості конструкції та принципи дії високовольтних вимикачів.....	18
1.4	Характеристики високовольтних вимикачів.....	33
	Висновок.....	35
2	ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВИПРОБОВУВАНЬ І ДІАГНОСТИКИ ВИМИКАЧІВ.....	36
2.1	Існуючі методи діагностики високовольтних вимикачів.....	36
2.2	Існуючі методи та засоби діагностування високовольтних вимикачів.....	47
2.2.1	Функціональне діагностування елегазових вимикачів.....	50
2.2.1.1	Функціональне діагностування приводів елегазових вимикачів.....	50
2.2.1.1.1	Автоматичне регулювання руху контактів за ре- зультатами функціонального діагностування.....	50
2.2.1.1.2	Керування вимикачем за результатами діагносту- вання стану головних та блокувальних контактів....	51
2.2.1.1.3	Придушення перехідних процесів при комутації за результатами функціонального діагностування	52
2.2.1.1.4	Система комплексного функціонального діагносту- вання елегазових вимикачів.....	59
2.2.1.2	Вітчизняна система моніторингу стану елегазових вимикачів.....	63
2.2.1.3	Прилади постійного контролю якості елегазу.....	67
2.2.1.4	Аналізатор елегазу 3-038 (Dilo).....	68
2.2.1.5	Прилади, якими комплектується вимикач.....	70
2.2.2	Тестове діагностування елегазових вимикачів.....	73
2.2.2.1	Вимірювання ізоляції елегазових вимикачів	73
2.2.2.2	Вимірювання опору постійному струму.....	74

2.2.2.3	Перевірка мінімальної напруги спрацьовування вимикачів.....	75
2.2.2.4	Випробування конденсаторів дільників напруги.....	75
2.2.2.5	Перевірка часових характеристик вимикача.....	76
2.2.2.6	Перевірка характеристик приводів вимикачів.....	79
2.2.2.7	Визначення перехідного опору контактів постійному струму	80
2.2.2.8	Визначення швидкісних характеристик вимикачів	81
2.2.3	Визначення мінімальної напруги спрацювання приводу вимикача.....	87
2.2.4	Метод тепловізорного контролю вимикача	88
2.2.5	Прилади періодичного контролю якості електрики.....	91
	Висновки.....	94
3	ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ВИМИКАЧІВ.....	95
3.1	Математична модель вимикача.....	95
3.2	Метод контролю параметрів вимикачів.....	100
	Висновки.....	104
4	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИМИКАЧІВ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB.....	105
4.1	Розробка математичної моделі вимикача.....	105
4.2	Нечітке моделювання в середовищі MathLab.....	110
4.2.1	Створення моделі з використанням алгоритмів Сугено.....	113
4.2.2	Цифрова модель вимикача з використанням алгоритму Мамдані.....	121
5	ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ З ПЕРЕВІРКИ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ	132
5.1	Задачі експерименту.....	132
5.2	Складання оптимального плану експерименту.....	132
5.2.1	Вибір експериментального плану.....	132
5.3	Алгоритм складання D-оптимального плану експерименту.....	135
5.4	D-оптимальне планування експерименту.....	142
5.5	Проведення експерименту та обробка його результатів.....	146

	Висновок.....	151
6	ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ.....	152
6.1	Актуальність проблеми автоматизації процесу діагностування	152
6.2	Удосконалена автоматизована система діагностування технічного стану високовольтного вимикача за параметрами часових характеристик.....	155
6.3	Робота аналізатора та його складових частин.....	158
6.3.1	Принцип дії.....	158
6.3.2	Опис складових частин розробленої системи діагностування.....	159
6.3.3	Підготовка системи діагностування до роботи.....	165
6.3.4	Програмне забезпечення та робота з приладом АРВВН.....	165
6.3.5	Проведення випробувань.....	166
6.3.6	База даних вимикачів.....	167
6.3.7	Аналіз результатів випробувань	169
6.3.8	Друк результатів та формування протоколів випробувань.....	170
6.3.9	Ретроспектива проведених досліджень.....	171
	Висновки.....	172
	ВИСНОВКИ.....	173
	ЛІТЕРАТУРА.....	174
	ДОДАТОК А.....	180

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АПВ	– автоматичне повторне увімкнення
Б	– батарея
В	– операція увімкнення
ВаВ	– вакуумний вимикач
ВВ	– високовольтний вимикач
ЕВ	– елегазовий вимикач
ЕСС	– електроенергетична система
ІДК	– інформаційно-діагностичний комплекс
М	– вимірювальний міст
МВ	– масляний вимикач
О	– операція вимкнення
ОВ	– успішне АПВ
ОВО	– неуспішне АПВ
ПВ	– повітряний вимикач
ПЕК	– паливно-енергетичний комплекс
T1, T2,	– таймери
T3	
ПЗП	– постійний запам'ятовуючий пристрій
САПП	– синхронний-асинхронний прилад-приймач
МП	– мікропроцесор

ВСТУП

Ефективна національна енергетична політика є головним чинником успішного розвитку будь-якої країни. Для України це питання на сьогодні набрало надзвичайної ваги, і від правильного вирішення проблеми в цілому, за різними її аспектами, безпосередньо залежатиме в недалекому майбутньому її енергетична безпека.

Неможливо переоцінити значення енергетики в сучасному суспільстві. Безпека держави, відродження національної економіки, підвищення якості життєвого рівня населення нерозривно пов'язані зі сталим розвитком енергетики країни. Могутній енергетичний потенціал, яким володіє Україна, є тим надійним фундаментом, що гарантує забезпечення економіки та населення паливно-енергетичними ресурсами.

Природні паливно-енергетичні ресурси і створений виробничий, науково-технічний і кадровий потенціал ПЕК – національне надбання України. Ефективне його використання є необхідною умовою виходу країни з кризи і переходу до сталого розвитку, що забезпечить зростання добробуту народу.

Зараз на електричних станціях, підстанціях на підприємствах електричних мереж в експлуатації знаходиться велика кількість силового та комутаційного обладнання, яке відпрацювало чимало років. Але заміна відпрацьованого електричного обладнання на нове для подальшої надійної та безперебійної передачі електроенергії ускладнена відсутністю коштів. Тому актуальною стає задача розробки нових технічних методів діагностики стану електрообладнання електроенергетичних систем, термін експлуатації якого складає 25 років і більше.

В першу чергу потрібно переглянути систему технічного діагностування та ремонту вимикачів, яка використовується в Україні ще з часів запровадження її в СРСР. За приклад можна взяти проведення планово-попереджувальних ремонтів. Звідси видно, що відключення для профілактики і планових ремонтів основного електрообладнання приводить до невиправданих затрат, оскільки в проміжку між планово-попереджувальним ремонтом не виявляються приховані

дефекти, які розвиваються і приводять до більш дорогих і довготривалих аварійних ремонтів. Тому більш раціональним є обслуговування по технічному стану електрообладнання, тобто не по плановому ремонту, термін якого і необхідний об'єм робіт визначається дефектами, виявленими при діагностиці.

Тому насамперед потрібно якісно поєднати компоненти системи технічного діагностування і ремонтів. Для цього потрібно вводити, проектувати, модернізувати та реорганізувати багато системних аспектів системи технічного діагностування та ремонту, при цьому потрібно переглянути розробку та введення в неї нових підсистем. В першу чергу це стосується технічного, інформаційного, методичного та організаційного видів забезпечення.

Провівши техніко-економічні міркування можна зробити висновок, що для організації технічного діагностування зношеного електрообладнання необхідні засоби, які дозволять оцінити стан об'єкта на цей момент, прослідкувати його зміни за останній час і спрогнозувати можливість функціонування на найближче майбутнє. Також перехід до нової системи технічного діагностування і ремонту по технічному стану електричного обладнання пов'язаний з використанням нових методик контролю параметрів електрообладнання.

Головною проблемою розвитку України в умовах господарювання в ринкових відносинах є забезпечення її енергетичними ресурсами.

В наш час велику увагу приділяють питанню зменшення втрат при експлуатації енергетичного обладнання. Найбільш загальною причиною відмов енергетичного обладнання є фізико-хімічні процеси, що відбуваються в ньому. До них відносяться: деформація і механічне руйнування різноманітних матеріалів, пошкодження електричної міцності діелектриків, теплове руйнування елементів, електрична ерозія, зварювання контактних поверхонь та інше.

При нинішньому стані економіки енергопідприємств і держави в цілому ми не маємо змоги масово замінювати енергетичне обладнання, строки експлуатації якого перевищують нормовані. Тому нам треба шукати шляхи, за допомогою яких ми могли би збільшити час їх надійної роботи.

На цей час в області експлуатаційного контролю високовольтної комутаційної апаратури інтенсивно розвиваються два основних напрямки: неперервний (моніторинг) і періодичний контроль. Неперервний контроль передбачає функціонування діагностичних пристроїв на працюючому обладнанні під високою напругою, що істотно ускладнює і здорожчує ці прилади. Тому особливу увагу приділяють удосконаленню методів і пристроїв періодичного експлуатаційного контролю параметрів високовольтних вимикачів в знеструмленому стані.

Як свідчить досвід світової експлуатації вимикачів, сучасним напрямком підвищення надійності їх роботи є діагностика стану мікропроцесорними вимірювальними системами. Тому бажано вдосконалювати існуючі засоби вимірювань параметрів вимикачів шляхом впровадження мікропроцесорних вимірювальних систем, нових засобів діагностики та обчислювальної техніки, створення високоінформативних експертних систем оцінки технічного стану та прогнозування надійності роботи обладнання на наступний період експлуатації.

1 ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вимикач є основним комутаційним апаратом в електричних установках різних номінальних напруг. Він призначений для увімкнення та вимкнення електричних кіл в різних режимах роботи електричних мереж: тривалому навантаженні, перевантаженні, короткому замиканні, холостому ході, несинхронній роботі. Найбільш важкою і відповідальною операцією є вимкнення струмів коротких замикань (КЗ) і увімкнення вимикача на відповідне коротке замикання.

Більшість високовольтних вимикачів (включаючи їх приводи) призначені для комутації електричних кіл при нормальних і аварійних режимах в мережах трифазного змінного струму частотою 50 Гц з номінальною напругою від 6 до 750 кВ включно (ГОСТ 687-78).

Незважаючи на значний прогрес, досягнутий за останні роки в розвитку елегазових і вдосконаленні маломасляних і вакуумних вимикачів, область застосування повітряних вимикачів поки що досить велика. Такі обставини будуть, очевидно, сприяти навіть розширенню цієї області найближчими роками.

По-перше, найближчими роками навряд чи можна чекати, що струми відключення елегазових і маломасляних вимикачів перевищать 80–100 кА, особливо при напругах понад 35 кВ, тоді як вже зараз широко застосовуються генераторні повітряні вимикачі із струмом відключення до 250 кА і потрібні вимикачі на напруги понад 750 кВ із струмом відключення до 100 кА.

По-друге, через необхідність стиснення елегаза в процесі відключення економічно недоцільно створювати ці вимикачі з часом відключення, меншим, ніж два періоди, тоді як час відключення повітряних вимикачів вже тепер технічно доступними засобами може бути доведений до одного періоду.

По-третє, проблеми підігріву елегаза і підтримка високої герметичності ущільнень при мінусових температурах визначають переваги повітряних вимикачів в районах з холодним кліматом.

По-четверте, відключення струмів короткого замикання поблизу потужних джерел енергії з високим вмістом аперіодичної складової також може бути поки здійснено тільки повітряними вимикачами.

Крім того, навіть без урахування цих обставин при напругах понад 420 кВ повітряні вимикачі поки економічно вигідніші, ніж вимикачі інших типів.

Кожен тип повітряного вимикача визначається безліччю характеристик, що дають повне уявлення про його параметри, конструкцію, застосування і умови експлуатації. Серед характеристик вимикачів різних типів прийнято виділяти групи номінальних характеристик, властивих всім типам вимикачів, які також слугують для визначення нормальних умов їх роботи.

В даний час Міжнародна електротехнічна комісія (МЭК), в яку входить низка країн, у тому числі й Україна, веде активну роботу по стандартизації номінальних і інших основних характеристик вимикачів і методів їх використання при випробуваннях. Національні стандарти на вимикачі країн, що входять в МЭК, хоча і враховують специфічні умови країни, загалом керуються рекомендаціями комісії.

До номінальних характеристик повітряних вимикачів по МЭК відносять: номінальну напругу $U_{ном}$; номінальний рівень ізоляції; номінальну частоту f_n ; номінальний струм I_n ; номінальний струм відключення $I_{о.ном}$; номінальну перехідну напругу, що відновлюється, при короткому замиканні на виводах вимикача; номінальний струм включення $I_{в.ном}$; номінальну тривалість короткого замикання; номінальну послідовність операцій (номінальні цикли); номінальний тиск $P_{ном}$ живлення стислим повітрям для операцій і для відключення струму; номінальну напругу живлення пристроїв, що вмикають і вимикають (електромагнітів), $U_{п.ном}$; номінальні характеристики при віддалених коротких замиканнях для триполюсних вимикачів з номінальною напругою 52 кВ і вище і струмом відключення понад 12,5 кА, призначених для прямого зв'язку з повітряними лініями передачі; номінальний струм відключення ненавантажених ліній для триполюсних вимикачів з номінальною напругою 72,5 кВ і вище, призначених для комутації повітряних ліній передачі; номінальний струм відключення в режимі розузгодження фаз (для вимикачів напругою понад 110 кВ); номінальний струм відключення ненавантажених кабелів; номінальний струм відключення конденсаторів (одиначних); номінальний малий індуктивний струм відключення; номінальна напруга живлення допоміжних кіл; номінальна частота живлення допоміжних кіл.

1.1 Дослідження стану високовольтних вимикачів

Робота енергопідприємств і енергогосподарств пов'язана з необхідністю проведення дослідження стану електрообладнання, в тому числі і високовольтних вимикачів, на всіх етапах експлуатації. Таке дослідження не є простим і складається з декількох рівнів.

Дослідження при зовнішньому огляді (перший рівень оцінки) забезпечує оцінку загального стану вимикачів. Ресурсна діагностика (другий рівень) передбачає контроль внутрішнього стану вимикачів, а також діагностику в об'ємі випробувань між капітальними ремонтами. Вона вимагає високої кваліфікації персоналу при обслуговуванні, який володіє значним об'ємом спеціальної інформації і може бути використана за участі спеціалізованих підрозділів та організацій. При діагностуванні технічного стану ставиться ціль більш точніше, ніж на першому рівні, оцінити фізичне та моральне зношення вимикача для забезпечення надійного продовження експлуатації, а також ліквідація внутрішніх, які розвиваються, і аварійних дефектів. Для підвищення ефективності виконуваних робіт пропонується використовувати інформаційну систему, яка реалізована на персональному ЕОМ та складається з реляційної бази даних (БД), продуктивної бази знань (БЗ) і експертної системи (ЕС).

Ресурсна діагностика вимикачів включає три етапи дослідження: експлуатаційний – відхилення та стан основних вузлів, параметрів при поточному ремонті, виявленні дефекти черговим персоналом; тестовий – випробування електрообладнання та контроль параметрів без відключення та з відключенням напруги; критичний – діагностика стану електрообладнання за одержаними результатами випробувань та експертних запитів в БД і БЗ.

Експлуатаційний етап – відхилення та стан основних вузлів, параметрів при поточному ремонті, виявленні дефекти черговим персоналом.

На експлуатаційному етапі аналізуються дані взяті з зовнішніх досліджень та заповнюються відповідні форми для наступного збереження результатів в таблицях бази даних. Результати цього етапу дозволяють виділити два стани: «нормальний стан вимикача» та «область ризику». «Нормальний стан вимикача» відповідає інтервалу від гранично допустимих значень до значень, які обмежують область но-

рмального стану обладнання в експлуатації. В цьому інтервалі гарантується надійна робота вимикача.

Експертні системи, які мають в основі бази знань структурованих знань-правил (в форматі «ЯКЩО..., ТОДІ..., коментарі, пояснення, пропозиції»), виявляють необхідну інформаційну підтримку, яка систематизована на досвіді висококваліфікованих спеціалістів-експертів та необхідних даних з бази даних.

«Область ризику» відповідає інтервалу від значень в області нормального стану параметрів до гранично допустимих значень показників в експлуатації. Погіршення одного із показників призводить до зниження надійності обладнання. В цьому випадку необхідний більш розширений контроль для прогнозування терміну служби вимикачів або прийняття спеціальних заходів з відновлення експлуатаційних характеристик обладнання. Таким чином можна запобігти виведенню обладнання в ремонт.

Тестовий етап – випробування вимикачів та контроль параметрів без вимкнення та з вимкненням напруги.

Ресурсна оцінка стану вимикача продовжується на другому етапі дослідження. На тестовому етапі уточнюються та виявляються інші дефекти, повніше оцінюється стан вимикачів. Для цього виконується внутрішній контроль характеристик та параметрів (перехідний опір контактів, опір електромагнітів, ємності конденсаторів та ін.) за стандартними методиками з відключенням напруги. Крім того, проводяться теплові випробування. Аналіз проведення вимірювань перехідного опору контактів та теплових випробувань, дозволяє виявити ступінь порушення гальванічного покриття із срібла головних контактів від дії дуги, що особливо важливо для прогнозування можливості продовження роботи вимикачів. При зменшенні площі гальванічного покриття дотику рухомого та нерухомого контактів, при їх відключенні, під дією дуги брызками міді, пошкоджується глазур внутрішньої порожнини фарфору дугогасильних камер. Після чого порушується структура фарфору, що призводить до зменшення динамічної та статичної міцності контактних елементів вимикачів. Теплові випробування дають можливість виявити причини підвищених нагрівів, погіршення ізоляції, які впливають на функціонування, а також сприяють прийняттю рішень про подальшу експлуатацію вимикачів.

Результати досліджень вносяться в базу даних і є основою для наступного етапу ресурсної діагностики.

Аналітичний етап другого рівня дослідження складається з оцінки альтернативи попередньої діагностики та прийняття зваженого рішення.

На основі всіх одержаних результатів етап завершується прийняттям одного із рішень:

- продовження експлуатації вимикача по системі технічного обслуговування та ремонту, виконуючи планові попереджувальні ремонти. При цьому параметри, які контролюються, повинні відповідати вимогам Правил технічної експлуатації та іншим нормативам;

- продовження експлуатації вимикача з частішою діагностикою, оскільки відхилення від норми деяких параметрів вимагають оцінки швидкості розвитку процесу на відносно тривалому відрізку часу, який однак менше встановлених нормативів;

- продовження експлуатації вимикача, при якій необхідно комплексний, відносно швидкий нагляд за кількома відхиленнями від норм параметрами, коли можливо стрімкий розвиток дефекту, який можна виявити на ранній стадії розвитку;

- продовження експлуатації вимикача за рахунок зменшення навантаження, бо експлуатація при номінальному навантаженні не відповідає умовам і може привести до швидкого розвитку дефекту;

- перехід до третього рівня дослідження для визначення складу та об'єму ремонту зношеного вимикача, оскільки є дефекти, в тому числі невизначені, які не дають можливості для подальшого продовження експлуатації без їх усунення шляхом ремонту.

Критичний етап – діагностика стану вимикача за одержаними результатами випробувань та експертними запитами в БД і БЗ.

Третій рівень дослідження – спеціалізована діагностика та ревізія, виконується персоналом спеціалізованих ремонтних підрозділів та організацій. Цей рівень має велике значення для оцінки достовірності результатів попередніх досліджень, їх вдосконалення та поповнення баз даних і знань. В той самий час ефективність третього рівня залежить від раніше одержаних результатів. При цьому належить прийняття одного із рішень, пов'язаних з виведенням зношеного вимикача з експлуатації:

1. Проведення ревізії з внутрішнім оглядом складових частин вимикача для визначення об'єму ремонтних робіт зношеного обладнання.
2. Вибрати схему капітального ремонту зношеного обладнання.
3. Зношене обладнання, яке потребує модернізації.
4. Заміна зношеного обладнання новим.

1.2 Класифікація високовольтних вимикачів

Кожний тип вимикачів визначається великою кількістю даних, що дають повну інформацію про його параметри, конструкцію, застосування й умови експлуатації.

Сучасні високовольтні вимикачі класифікують за такими параметрами: спосіб гасіння дуги, призначення, вид установки, категорія розміщення, кліматичне виконання [1, 4].

За способом гасіння дуги високовольтні вимикачі розділяють на такі основні групи:

1) масляні вимикачі – гасіння дуги відбувається в середовищі електротехнічного масла:

а) бакові – з великим об'ємом масла, яке служить дугогасильним середовищем та ізоляцією між струмопровідними частинами вимикача;

б) маломасляні – з малим об'ємом масла, яке служить тільки дугогасильним середовищем;

2) повітряні вимикачі – гасіння дуги відбувається в середовищі стисненого повітря;

3) повітряні авто-пневматичні вимикачі – стиснене повітря, необхідне для гасіння дуги, утворюється за рахунок енергії пружини, яка розтискається при розходженні контактів вимикача;

4) автогазові – гасіння дуги відбувається газами, які виділяються зі стінок дугогасильних камер під дією високої температури;

5) елегазові – гасіння електричної дуги в середовищі електротехнічного газу (шестифтористої сірки – SF₆);

6) електромагнітні вимикачі – гасіння дуги відбувається за допомогою магнітного дуття в різного роду дугогасильних камерах;

7) вакуумні – гасіння дуги відбувається у вакуумному середовищі.

За призначенням вимикачі можуть бути розбиті на такі групи.

1. *Мережеві* вимикачі на напруги від 6 кВ і вище, застосовувані в електричних колах (крім кіл електричних машин і електротермічних установок) і призначені для пропускання й комутацій струму в нормальних умовах роботи кола, а також для пропускання протягом заданого часу й комутацій струму в заданих ненормальних умовах, таких, як умови короткого замикання:

а) для нормальних умов експлуатації, тобто передбачених вимогами ДСТУ і міжнародними стандартами (МЕК, СЕВ) до вимикачів високої напруги загального призначення;

б) для частих комутаційних спрацювань з більш високим механічним і комутаційним ресурсом, ніж той, що передбачений вимогами стандартів до вимикачів загального призначення;

в) з підвищеною швидкістю наростання (частотою) відновлювальної напруги, що допускають експлуатацію в тих місцях енергосистем, де ця швидкість істотно вища швидкості, установлені стандартом на вимикачі загального призначення;

г) з підвищеною міжконтактною електричною міцністю, більш високою, ніж у вимикачів загального призначення.

2. *Генераторні* вимикачі на напруги від 6 до 20 кВ, які використовуються в колах електричних машин (генераторів, синхронних компенсаторів, потужних електродвигунів) і призначені для пропускання й комутацій струму в нормальних умовах, а також у пускових режимах і при коротких замиканнях.

3. *Вимикачі на напругу від 6 до 220 кВ для електротермічних установок*, які застосовуються в ланцюгах великих електротермічних установок і призначені для пропускання й комутації струму в нормальних умовах, а також у різних експлуатаційних режимах і при коротких замиканнях.

4. Вимикачі спеціального призначення:

а) *вимикачі-від'єднувачі* на напругу від 500 до 1150 кВ, призначені для безінерційного підключення до лінії електропередачі шунтувальних реакторів при виникненні перенапруг, що перевищують заданий рівень, для комутацій зазначених реакторів, а також відключення в їхніх колах коротких замикань;

б) *захисні вимикачі* на напругу від 6 до 20 кВ, що застосовуються для установки в колах ударних генераторів живильних стендів і приз-

начені для нормальних комутацій ударних генераторів, а також для захисту їх при неуспішних відключеннях випробовуваних апаратів;

в) *вимикачі навантаження* на напругу від 110 до 500 кВ, призначені для пропускання й комутацій струму в нормальних умовах роботи кола, а також для пропускання протягом заданого часу й включення струмів при коротких замиканнях;

г) *вимикачі* на напругу від 6 до 35 кВ, застосовувані в комплектних розподільних пристроях.

За видом установаження вимикачі діляться на такі групи.

1. *Опорні*, які мають основну ізоляцію на землю опорного типу.

2. *Підвісні*, які мають основну ізоляцію на землю підвісного типу.

3. *Настінні*, які закріплені на стінах закритих розподільних пристроїв.

4. *Викатні*, які пристосовані для викочування з комірок розподільних пристроїв.

5. Вбудовані в комплектні розподільні пристрої.

За категоріями розміщення й кліматичним виконанням повітряних вимикачі відповідно до ДСТУ 15150–69 розділяються на:

а) п'ять категорій розміщення (поза і всередині приміщень з різними умовами обігріву й вентиляції);

б) шість кліматичних виконань (В, ХЛ, ТВ, ТС, Т і О) залежно від географічного місця установки; нормовані значення температури повітря для зазначених кліматичних виконань вимикачів.

В свою чергу, кожна з груп вимикачів ділиться ще за рядом ознак:

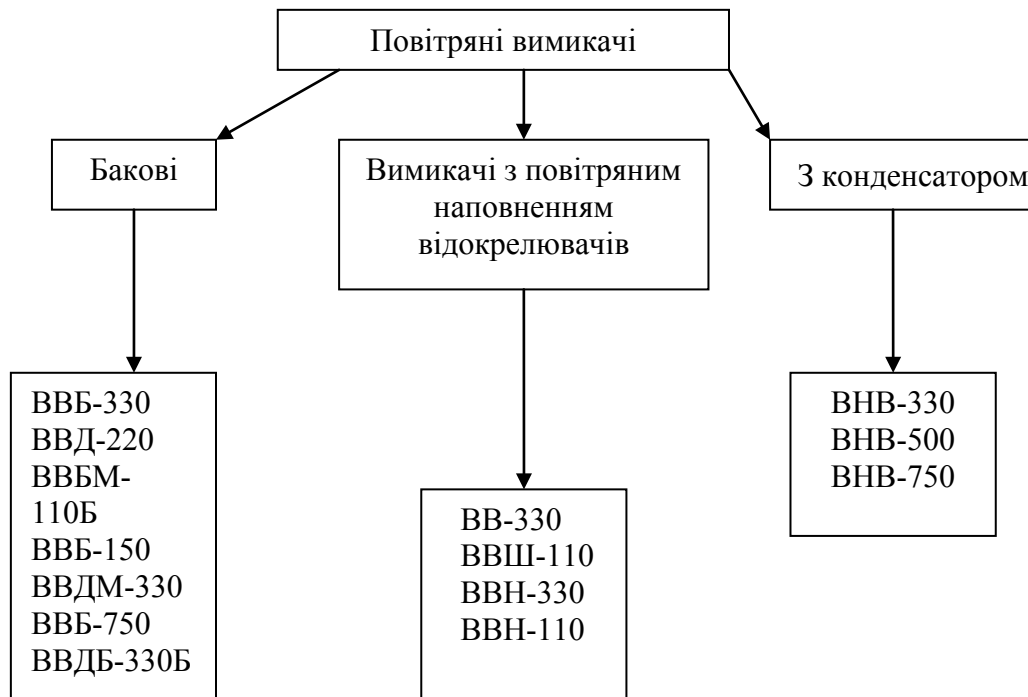
- за часом дії – швидкодійні (0,04–0,08 с), прискореної дії (0,08–0,12 с) та не швидкодійні (0,12–0,25 с);

- за кількістю фаз – одно- та трифазні. В залежності від кількості розривів на одну фазу – з одно-, дво- та багатократними розривами;

- за конструктивним зв'язком з приводом – з окремим та вбудованим приводом, кожен з яких ручний, або автоматичний;

- за наявністю циклу АПУ (автоматичного повторного увімкнення) – одноступеневого, багатоступеневого, пофазного та швидкодійного.

Існує така класифікація повітряних вимикачів за видом вимкнення:



1.3 Особливості конструкції та принципи дії високовольтних вимикачів

У наш час розробку й виробництво повітряних вимикачів здійснює велика кількість провідних закордонних і вітчизняних фірм, причому багато хто з них продовжує паралельно випускати повітряні, елегазові та масляні вимикачі. При цьому природно, що прогрес у створенні вимикачів одного типу стимулював пошуки конструктивних вирішень для вимикачів інших типів для досягнення кращих властивостей і показників.

Характерною рисою конструювання сучасних вимикачів різними фірмами є досягнення необхідних властивостей і параметрів принципово однаковими методами, що привело останнім часом до зближення принципів побудови конструктивних схем вимикачів [3]. Це дозволяє сформулювати тенденції в розвитку сучасних вимикачів.

1. Модульний принцип побудови серій. Цей принцип дозволяє будувати серії в досить великому діапазоні напруг (від 35 до 1150 кВ) з однакових модулів, робити модулеві випробування й мати максимально вигідні умови виробництва, експлуатації й монтажу. В останній час намітилася тенденція до істотного збільшення напруги, що доводиться на один модуль (понад 250 кВ).

2. Застосування швидкодійних систем керування з малим розкидом часу оперування. Основним призначенням таких систем є створення вимикачів із синхронним вимкненням або ввімкненням.

3. Обмеження вимикачами комутаційних перенапруг. Ця тенденція стає обов'язковою для вимикачів вищих класів напруг і втілюється у постачанні вимикачів шунтувальними опорами або в доданні їм здатності синхронного включення.

4. Підвищення надійності й збільшення міжремонтних строків. Перше диктується зростанням ролі вимикачів у забезпеченні надійної роботи енергосистем, а друге – зростанням складності вимикачів і необхідності спрощення їхньої експлуатації.

Вже відомі вимикачі, механічний комутаційний ресурс яких усуває необхідність ремонтів протягом 15–20 років [3].

5. Введення примусового охолодження для генераторних вимикачів дозволяє створити економічно прийнятні вимикачі з номінальними струмами понад 20 кА.

Що стосується тенденцій поліпшення параметрів генераторних вимикачів, то, як видно, уже в найближчі роки струми відключення генераторних вимикачів досягнуть 300 кА, номінальні струми 50 кА, а мережевих вимикачів – 100–120 кА й 10–15 кА відповідно. Час відключення мережевих вимикачів зменшиться до одного напівперіоду. З'являться вимикачі напруги 1500–2000 кВ. При цьому, однак, не слід забувати, що з поліпшенням параметрів різко зростає вартість вимикачів, що, з одного боку, визначає необхідність ретельного техніко-економічного аналізу систем у цілому, а з іншого – доцільність масового випуску полегшених і більш дешевих конструкцій, тому що кількісна потреба у вимикачах з екстра-параметрами відносно мала.

Розглянемо конструкції та принципи роботи сучасних повітряних, елегазових та масляних вимикачів.

Масляні вимикачі. В масляних бакових вимикачах масло служить для гасіння дуги і ізоляції струмопровідних частин.

В маломасляних вимикачах трансформаторне масло використовується в основному для гасіння електричної дуги. Вимикачі мають малі розміри, малу масу, достатньо високі технічні дані. Це визначило їх широке застосування при номінальній нарузі до 35 кВ в збірних розподільчих пристроях, комплектних розподільчих пристроях для внутрішньої (КРП) і зовнішньої установок (КРПН). Це вимикачі серій:

ВМ, ВГГ-10, ВМПЭ, ВПМ, ВПМП, ВГМ-20, МГУ-20, ВМУЭ, ВМТ; МГГ-10, ВКЭМ-10, ВМКЭ-10. При напрузі до 10 кВ (в деяких типах вимикачів до 35 кВ) вимикач має один бак, в якому знаходяться контакти всіх трьох фаз, при більшій напрузі для кожної фази передбачено свій бак.

Для зовнішніх установок напругою 35 кВ і вище бакові масляні вимикачі завдяки простоті конструкції використовуються достатньо широко. Вони мають спеціальні пристрої для гасіння дуги – дугогасильні камери.

За принципом дії дугогасильні пристрої можна розділити на 3 групи:

- з автодутьям, в яких високий тиск і велика швидкість руху газу в зоні дуги утворюються за рахунок виділеної в дузі енергії;
- з примусовим масляним дутьям, в яких до місця розриву дуги масло подається за допомогою спеціальних гідравлічних механізмів;
- з магнітним гасінням в маслі, в яких дуга під дією магнітного поля переміщується у вузькі канали і щілини.

Найбільш ефективним і простим є дугогасильний пристрій з автодутьям. Пристрої з автодутьям працюють тим ефективніше, чим більший струм у дузі. При відключенні малих струмів тиск газів може бути незначним, внаслідок чого дуття буде неенергійним, що приведе до збільшення часу гасіння дуги. З цієї причини деякі гасильні пристрої з автодутьям доповнені примусовим масляним дутьям, яке забезпечує ефективне гасіння малих струмів.

Розглянемо конструкцію та принцип роботи масляних вимикачів на прикладі бакового масляного вимикача С-35-630-10 [4].

В бакових вимикачах на 35 кВ типу С-35-630-10 на кожний полюс є одна дворозривна рухома камера. Кожний полюс зібраний на масивній чавунній кришці (рис. 1.1, а). До кришки підвішується бак, внутрішні стінки якого ізольовані електрокартоном. Під кришкою встановлений привідний механізм з системою важелів, які забезпечують прямолінійний рух штанги. Механізми всіх трьох полюсів з'єднані тягами між собою із приводом вимикача. Через отвір в кришках пропущені вводи, на кінцях яких закріплені нерухомі Г-подібні контакти з металокерамічними напайками. На кожному вводі під кришкою встановлено вмонтований трансформатор струму. До нижньої частини штанги, яка виконана з ізолювального матеріалу, прикріплена дугога-

ЛІТЕРАТУРА

1. Кукеков Г. А. Выключатели переменного тока высокого напряжения / Г.А. Кукеков. – Л. : Энергия, 1972. – 336 с.
2. Алексеев Б. А. Объем и нормы испытаний электрооборудования / Б. А. Алексеев, Ф. Л. Когана, Л. Г. Мамиконянца. ; под общ. ред. Б. А. Алексеева. – 6-е изд., с изм. и доп. – М. : НЦ ЭНАС, 2001. – 256 с.
3. Бронштейн А. М. Современное состояние и тенденции развития выключателей высокого напряжения / А. М. Бронштейн, В. Б. Козлов. // Электричество. – 1987. – № 11. – С. 30–37.
4. Белкин Г. С. Выключатели высокого напряжения / Г. С. Белкин, Н. В. Шилин. // Электричество. – 1989. – № 8. – С. 24–27.
5. Петрищев Л. С. Диагностика силового электрического оборудования в Свердловэнерго / Л. С. Петрищев, В. Н. Осотов, А. Г. Константинов // Электрические станции. – 1992. – № 5. – С. 19–23.
6. Чернышев Н. А. Приборы контроля высоковольтных выключателей / Н. А. Чернышев // Энергетик. – 2003. – № 11. – С. 8–14.
7. Чернышев Н. А. Аппаратура и метод раннего обнаружения дефектов в механизмах высоковольтных выключателей / Н. А. Чернышев, А. Л. Ракевич // Электрические станции. – 2004. – № 11. – С. 61–65.
8. Мокін Б. І. Моделі та системи технічної діагностики високовольтних вимикачів / Б. І. Мокін, В. В. Грабко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 74 с.
9. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
10. Дьяконов В. В. MATLAB : учебный курс / В. В. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2001. – 560 с.
11. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, Н. Н. Борисова. – М. : Горячая линия-Телеком, 2001. – 382 с.

12. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С. А. Орловский. – М. : Наука, 1981. – 208 с.
13. Ковальски Р. Г. Логика в решении проблем / Р. Г. Ковальски. – М. : Наука, 1990. – 280 с.
14. Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П. М. Сви. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 275 с.
15. Смирнов Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики / Н. В. Смирнов, И. Н. Дунин-Барковский. – М. : Наука, 1965.
16. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества / Р. Шторм. – М. : Мир, 1970.
17. Сазыкин В. Г. Информационная поддержка внешнего исследования изношенных силовых трансформаторов / В. Г. Сазыкин // Промышленная энергетика. – 2002. – № 2. – С. 17–24.
18. Дехтярев Л. Н. Методические указания по наладке воздушных выключателей ВВБ-750-40/3200У1. МУ 34-70-017-82 / Л. Н. Дехтярев. – М. : Союзтехэнерго, 1982. – 47 с.
19. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ВВ-330. ВД2.025.061.ТО. – Л. : Электроаппарат, 1992. – 87 с.
20. Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень / [Шидловський А. К., Стогній Б. С. та ін.]. – К. : Українські енциклопедичні знання, 2004. – 468 с.
21. Аракелян В. Г. Физическая химия элегазового электротехнического оборудования / В. Г. Аракелян. – М. : Издательство МЭИ, 2002. – 296 с.
22. А. С. 834791. Способ предотвращения конденсации влаги в высоковольтных устройствах с элегазовой изоляцией / В. Г. Аракелян, И. М. Бортник; БИ; 1981; № 20.
23. Аракелян В. Г. Предотвращение конденсации влаги в элегазовых электроаппаратах / В. Г. Аракелян // Электротехника. – 1981. – № 4. – С. 48–50.

24. Аракелян В.Г. Методы обеспечения качества элегаза в высоковольтных аппаратах / В. Г. Аракелян // Создание комплексов электротехнического оборудования высоковольтной, преобразовательной и сильноточной техники : Всес. конф. 25–27 ноября 1986 : тезисы докл. – М., ВДНХ СССР, 1986. – С. 17.
25. Аракелян В. Г. Предотвращение конденсации влаги в элегазовом электрооборудовании / В. Г. Аракелян // Электротехника. – 1993. – № 5. – С. 54–57.
26. Аракелян В. Г. Анализ состояния влаги в элегазовом электрооборудовании / В. Г. Аракелян // Электротехника. – 1993. – № 9–10. – С. 32–35.
27. Аракелян В.Г. Нормирование качества элегаза в электрооборудовании / В. Г. Аракелян // Электротехника. – 1993. – № 12. – С. 26–34.
28. IEC, Specification and acceptance of new sulfur hexafluoride // Publication 376. 1971.
29. IEC, Guide to the checking of sulphur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment // Publication 480. 1974.
30. Karner H.C. The influence of moisture on the electrical properties of polymeric insulating materials / Karner H.C., Stietzel U. // IEEE Intemat. Sump. Electr. Insulat. 1982.
31. Аракелян В. Г. Расчет диффузионных процессов в уплотнениях элегазовых аппаратов / В. Г. Аракелян, В. Н. Демина // Электротехническая промышленность. Сер. АВН. – 1979. – Вып. 11(103). – С. 11–13.
32. Аракелян В. Г. Исследование диффузионных характеристик образцов листовой резины / В. Г. Аракелян, В. Н. Демина // Каучук и резина. – 1981. – № 8. – С. 44.
33. Factor controlling syrface flashover in SF₆ gas insulated systems / T. Nitta, Y. Shibuya, Y. Fujiwara [e.o.] // IEEE Trans, on power apparat. and syst. – 1978. – Vol. PAS-97. – No. 3. – P. 959–965.
34. Аракелян В. Г. Определение утечки элегаза из электротехнических аппаратов / В. Г. Аракелян, В. Н. Демина. // Электротехника. – 1992. – № 4–5.– С. 65–68.

35. Электроизоляционные материалы для работы в элегазе. Определение стойкости компаундов к продуктам разложения шестифтористой серы / В. Г. Аракелян, Г. П. Бочкарева, И. М. Бортник [и др.] // Электротехническая промышленность. Сер. ЭМ. – 1974. – Вып. 2(43). – С. 7–9.

36. Электроизоляционные материалы для работы в элегазе. Свойства заливочного компаунда КФ-1 / Г. П. Бочкарева, В. Г. Аракелян, И. М. Бортник [и др.] // Электротехническая промышленность. Сер. ЭМ. – 1975. – Вып. 1 (54). – С. 3–4.

37. Изоляционные материалы для работы в элегазе. Компаунд КФ-4 для твердой изоляции элегазовых выключателей / И. М. Бортник, Г. П. Бочкарева, В. Г. Аракелян [и др.] // Электротехническая промышленность. Сер. ЭМ. – 1979. – Вып. 12 (133). – С. 5–6.

38. Каталог 1HSM 9543 22-00еп. Автоматические выключатели с дугогасящей камерой под напряжением : справочник покупателя. – изд. 4-е. – М. : АВВ, 2008. – 128 с.

39. Каталог 1HSM9543 21-02гу, Выкатные и комбинированные выключатели для компактных ОРУ 110-330 кВ. – изд. 2-е. – М. : АВВ, 2006. – 12 с.

40. Каталог DILO D-87727 Vobenhousen C2478-0I. Измерительные приборы и устройства для работы с элегазом. – М. : DILO, 2010. – 84 с.

41. Силовой выключатель ЗАР2 FI. Руководство по эксплуатации. Заказ №. 927 00687 512 А. АО «Сименс» Schaltwerk Hochspannung Berlin. – Берлин : Siemens AG, 2002. – 32 с.

42. Сопель М. Ф. До визначення залишкового ресурсу элегазових високовольних вимикачів 750 кВ / М. Ф. Сопель, В. Л. Тутик, А. В. Панов, Ю.В. Пилипенко // Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України : зб. наук. праць. – 2007. – Ч. 1, № 1(16). – С. 136–139.

43. Рубаненко О. Є. Мікропроцесорні пристрої контролю часових характеристик повітряних вимикачів високої напруги / О. Є. Рубаненко, О. І. Гуменюк // Новини енергетики. – 2004. – № 10. – С. 50–56.

44. Мокін Б. І. Моделі та системи технічної діагностики високовольтних вимикачів / Б. І. Мокін, В. В. Грабко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 74 с.
45. Лежнюк П. Д. Розширення можливостей мікропроцесорних пристроїв контролю характеристик вимикачів / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, Ю. В. Антонюк // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2004. – № 2(25). – С. 119–121.
46. Журахівський А. В. Основи наукових досліджень та технічної творчості : навч. посіб. / А. В. Журахівський, Ю. О. Варецький, З. М. Бахор. – Маріуполь : Приазовський ДТУ, 2000. – 138 с.
47. Филиппов Л. И. Проведение научных исследований и педагогический процесс / Л. И. Филиппов. – М. : МЭИ, 1987. – 86 с.
48. Шейко В. О. Організація та методика науково-дослідної роботи / В. О. Шейко, М. В. Кушнарєнко. – К. : Техніка, 2002. – 362 с.
49. Смирнов Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики / Н. В. Смирнов, И. Н. Дунин-Барковский. – М. : Наука, 1965.
50. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества / Р. Шторм. – М. : Мир, 1970.
51. ГОСТ 15894-70. Статистическое регулирование технологических процессов. – М. : 1972.
52. Зажигает Л. С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Л. С. Зажигает, А. А. Кишьян, Ю. И. Романиков. – М. : Атомиздат, 1978. – 232 с.
53. Круг Г. К. Теоретические основы планирования экспериментальных исследований / Г. К. Круг. – М. : Из-во МЭИ, 1974. – 185 с.
54. Боженко Л. І. Управління якістю, основи стандартизації та сертифікації продукції : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л. І. Боженко, О. Й. Гутта. – Львів : Афіша, 2001. – 176 с.
55. Новиков В. М. Основи метрології та метрологічна діяльність. : навч. посібник / В. М. Новиков, А. М. Коцюба. – К. : Нора-прінт, 2001. – 210 с.

56. Объем и нормы испытаний электрооборудования / Под общ. ред. Б. А. Алексеева. Ф. Л. Когана, Л. Г. Мамикоянца. – 6-е изд. с изм. и доп. – М. : НЦ ЭНАС, 2001. – 256 с.

57. Смирнов Н. В. Краткий курс математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М. : ФМ, 1959.

58. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – М. : Наука, 1971.

59. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями / А. Хальд. – М. : ИЛ, 1956.

60. Налимов Н. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / Н. В. Налимов, Н. Л. Чернова. – М. : Наука, 1965.

61. Крамер Г. Математические методы статистики / Г. Крамер. – М. : ИЛ, 1948.

62. Голикова Т. И. Свойство D-оптимальных планов и методы их построения / Т. И. Голикова, Н. Г. Микешина. // Новые идеи в планировании эксперимента. – М. : Наука, 1969.

63. Вучков И. Н. D-оптимальные экспериментальные планы, Проблемы планирования эксперимента / И. Н. Вучков, Г. К. Круг. – М. : Наука, 1969.

64. Соколов С. Н. Непрерывное планирование регрессионных экспериментов / С. Н. Соколов. // Теория вероятностей и ее применения. – 1963. – Т. 8.

Наукове видання

Рубаненко Олександр Євгенійович

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ
ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено О. Рубаненком

Підписано до друку 8.11.2012 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 10,86
Тираж 100 прим. Зам № 2012-171

Вінницький національний технічний університет,
КІВІЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.