

*О.В. М'ЯКІНЬКИЙ*, аспірант, НТУ "ХПІ", Харків

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ СИСТЕМИ РУЧНОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПРИВОДУ ДЛЯ ВАКУУМНОГО ВІДМИКАЧА СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ**

Проведено огляд існуючих систем ручного відключення приводів вакуумних відмикачів середньої напруги. Розроблено методика імітації протидіючих сил реальних відмикачів. Розраховано та експериментально перевірено статичну тягову та протидіючу характеристики ручного відключення приводу. Отримано діапазони спрацьовування механізму ручного відключення з урахуванням зношення контактів та значення граничного зношення. Проведено аналіз причин розбіжності розрахункових та експериментальних даних.

Проведен обзор существующих систем ручного отключения приводов вакуумных выключателей среднего напряжения. Разработана методика имитации противодействующих сил реальных выключателей. Рассчитаны и экспериментально проверены статическая тяговая и противодействующая характеристики ручного отключения привода. Получены диапазоны срабатывания механизма ручного отключения с учетом износа контактов и значение предельного износа. Проведен анализ причин несовпадения расчетных и экспериментальных данных.

**Вступ.** В останній час в мережах середньої напруги суттєво поширилося використання вакуумних відмикачів [1]. Зрозуміло, що однією з найважливіших вимог до таких електроапаратів є надійність спрацьовування. У свою чергу в питанні забезпечення надійної роботи не останню роль відіграє якісна робота механізму ручного відключення приводів відмикачів. Наведу декілька прикладів того, наскільки важливою і актуальною є проблема, з якою можна стикнутися, якщо розраховувати лише на електричне відключення відмикачів.

Однією з типових ситуацій є запуск трансформаторної підстанції, наприклад тягової підстанції на залізниці. Як відомо, електричну енергію для живлення усіх кіл керування, підстанція отримує за допомогою знижувального трансформатора власних потреб. Але що робити, якщо ми вмикаємо відмикач підстанції на аварійний режим? Адже у колах керування досі немає оперативної напруги, бо трансформатор власних потреб ще не встиг здійснити постачання електроенергії у кола керування підстанції. В такому разі відсутність механізму ручного відклю-

чення може привести до багатомільйонних збитків. Також час від часу виникає необхідність проведення огляду або ремонту вакуумних відмикачів, розташованих у місцях з непрямим доступом, наприклад у відсіках комплектно - розподільчих пристроїв. Якщо у цей час щось відбудеться із напругою живлення кіл керування пристроєм, без наявності механізму ручного відключення, доступ до відмикача буде закрито, бо ремонтування подібних електроапаратів без попереднього знеструмлення є надзвичайно ризикованим.

**Стан питання.** Сучасні вакуумні відмикачі обладнані системами, які дозволяють у разі потреби провести ручне відключення. Декілька прикладів реалізації цих механізмів, які проілюструють стосовно ручного відключення вакуумних відмикачів середньої напруги 6-35 кВ.

Так для ручного відключення вакуумного відмикача серії ВР27НС, призначеного для комутації однофазних електричних кіл напругою 27 кВ, необхідно звільнити спеціальний важіль, розташований у шафі з платами керування, і натиснути на нього. Після операції відключення важіль буде зведено у початкове положення за допомогою пружин, які зафіксують його у початковій позиції. Ручне відключення вакуумних відмикачів серії ВР, розрахованих на комутацію електричних кіл номінальною напругою 6-10 кВ, відбувається рукояткою ручного відключення на якій розміщена пружина [2]. Після сполучення рукоятки відключення з валом, необхідно повернути рукоятку проти часової стрілки до повного відключення відмикача. Максимальний кут оберту не повинен перевищувати 180 градусів. При цьому, встановлені на валу кулачки впливають на вальці вставки відключення, що приводить до переміщення осердя електромагніту із стартового положення у відключене. Резерв енергії пружини достатній для забезпечення повного нормативного відключення. Вакуумні відмикачі ВВ-TEL компанії "Таврида – електрик", розраховані на 10 кВ номінальної напруги, відключаються вручну шляхом натискання на кнопку ручного відключення, яка за допомогою штовхача шарнірно зв'язана з відповідним валом [3]. Штовхач діє через вал на якір електромагніту і розриває магнітну систему. Кнопка ручного відключення, сполучена із валом, може бути індикатором положення якоря відмикача. Зусилля на кнопці відключення при ударній дії на неї може становить 200-250 Н. Як можна побачити, незважаючи на окремі технічні деталі, що різняться, у всіх випадках ми маємо систему для створення протидіючих зусиль руху якоря, дія якої під час процесу ручного відключення ініціюється механічно.

**Метою даної роботи** було створення такої системи для зразку електромагнітного привода з висококоерцитивними постійними магнітами і знаходження діапазонів спрацьовування механізму ручного відключення в залежності від значення протидіючих сил при різних співвідношеннях розчину-провалу контактів привода відмикача, що є імітацією їх зносу в процесі роботи.

Для реалізації прикладної частини досліджень було розроблено спеціальний стенд, який надає можливість проводити досліди стосовно включення/відключення електромагніту, а також дозволяє провести емуляцію процесу ручного відключення приводу. Зовнішній вигляд стенду зображений на рис.1.

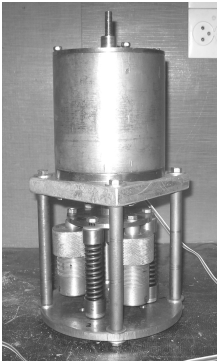


Рис. 1.

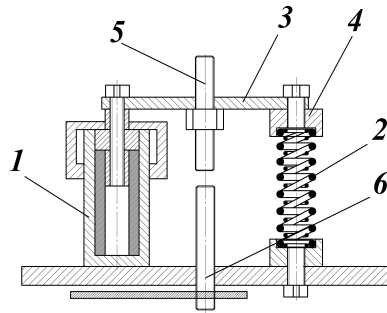


Рис. 2.

Як можна побачити, експериментальна установка складається з алюмінієвої платформи на якій закріплено привід, збірної рами, що складається з чотирьох металічних труб та основи, на якій вони розташовані, а також з системи, відповідальної за створення протидіючих зусиль. Вона у свою чергу складається з металевого диска, до якого принайтовані тарілчасті пружини та 6 допоміжних пружин, кожна з яких центрована за допомогою пари спеціальних шайб. В середині основи є отвір для болта з рукояттю, обертання якого імітує процес ручного відключення приводу. Елементи системи для створення протидіючих зусиль: три тарілчасті пружини (1), три пари додаткових пружин (2), диск (3) до якого прикріплено всі ці пружини, втулки центрування допоміжних пружин (4) та болт (5) який забезпечує поєднання даного блоку зі штоком електромагніту, а також болт ручного відключення (6). Ескіз системи імітації протидіючих сил реальних вакуумних відмикачів зображено на рис. 2.

**Принцип дії.** Система була створена для імітації протидіючих зусиль у реальних вакуумних відмикачках, отже виходячи з того, що у вакуумних камерах відмикачів середньої напруги найбільш розповсюдженим значенням провалу контактів є 2-4 мм, а також враховуючи хід якоря електромагніту, який дорівнює 18 мм, було здійснено налагодження експериментальної установки наступним чином. При спрацьовуванні приводу, зв'язаний зі штоком диск, з закріпленими на ньому тарілчастими пружинами, проходить відстань у 14 мм, після чого корпус "тарілок" спираються на основу і припиняють свій рух. Ті чотири міліметри провалу, що залишилися, якір стискає вже нерухомі тарілчасті пружини, а також додаткові пружини до їх повного стискання. Якір залишається в цьому положенні завдяки великій силі утримання приводу – 6,4 кН. Ручне відключення в цій установці імітується обертанням спеціального болту, отвір для якого зроблено в середині диску основи стенду. Поступово обертуючи болт, ми доводимо його верхній кінець, до нижнього краю бовту з'єднаного зі штоком електромагніту. Подальший поступовий рух болту підриває якір. Цілком очевидно, що чим більше сила підтискання "тарілок", тим на меншу відстань нам потрібно підірвати якір. Також слід зазначити що при даних параметрах пружин додаткового підтискання неможливо реалізувати ручне відключення при співвідношенні довжин розчину та провалу контактів вакуумної дугогасної камери (ВДК): (16+2) мм замість вищевказаних (14+4) або (15+3) мм. Не вистачає енергії акумульованої у тарілчастих пружин.

Під час проведення досліджень постійно виникала необхідність створення певної сили натиску при регулюванні пружин. Необхідні зусилля створювались за допомогою стенду з закріпленим на ньому з'ємним динамометром. При дослідах було використано два динамометри:

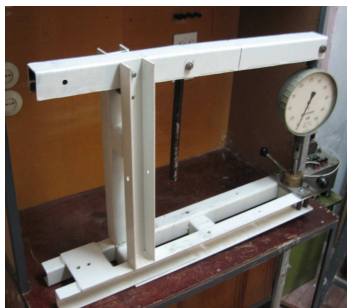


Рис. 3.

ДПУ-0,5-2 та ДПУ-0,1-2 (розрахованих на 5 кН та на 1 кН відповідно). Зовнішній вигляд стенду зображено на рис. 3.

**Хід досліджень.** Після завершення перевірки працездатності системи ручного відключення, виникла задача знаходження умов за яких це відключення стає можливим. Серед усіх задач, які виникли стосовно механізму ручного відключення треба виділити три основні, а саме:

1) Знаходження діапазону спрацьовування механізму ручного від-

ключення приводу в залежності від параметрів системи створення протидіючих зусиль для співвідношення розчину-провалу (14+4) мм.

2) Те ж саме для співвідношення (15+3), яке розглядається, як утворене з попереднього за рахунок зношення контактів.

3) Знаходження значень граничного зношення контактів.

Перший етап дослідів складався з декількох частин.

**Статична тягова характеристика ручного відключення.** Розрахунок був реалізований на ПЕОМ за допомогою програми розрахунку електромагнітних систем, сучасної програмної системи кінцево-елементного аналізу – FEMM версії 3.4. Перевірка результатів розрахунку проводилась наступним чином: в робочий зазор електромагніту було введено пластикові кільця приблизно міліметрової товщини. Після кожної з таких операцій якір електромагніта відривавсь з положення утримання на стенді з динамометром, який показував значення сили відриву.

Розрахункова та експериментальна статичні тягові характеристики ручного відключення в одній системі координат зображені на рис. 4: верхня крива – розрахунок, нижня – експеримент.

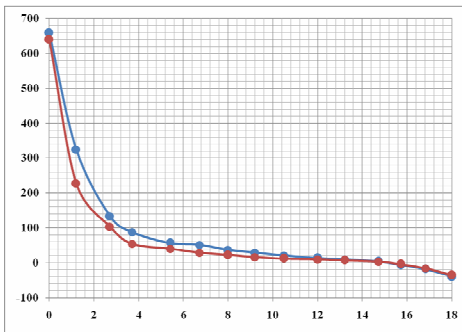


Рис. 4.

**Характеристика протидіючих зусиль при ручному відключенні.** Як було зазначено, протидіючі зусилля створюються тарілчастими та допоміжними пружинами. Тарілчасті пружини надають можливість регулювати початкові зусилля у великому діапазоні. Отже основною задачею став вибір допоміжних пружин. Процес вибору визначався наступними параметрами:

1) жорсткістю пружини, яка у свою чергу залежить від кількості витків, діаметру проволочи, зовнішнього та внутрішнього діаметрів пружини;

2) її вільною довжиною, а також довжинами початкового підтиснення та повністю стиснутого стану;

Значення деяких з цих параметрів були обумовлені конструкцією установки, інші мали спроможність змінюватися. В середині великої пружини було встановлено ще одну меншого діаметру. Жорсткості пружин, які складають систему для створення протидіючих зусиль приведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики пружин.

Пружина	Жорсткість 1 пружини, Н/мм	Жорсткість 3 пружин, Н/мм
Тарілчаста	213	640
Велика допоміжна	22	66
Мала допоміжна	13	40
Пара допоміжних	35	105

Після обчислення жорсткостей системи пружин можна побудувати протидіючу характеристику ручного відключення. Експериментальна статична тягова характеристика ручного відключення та протидіюча характеристика ручного відключення в єдиній системі координат при  $F_{\text{поч.тар}} = 1,7 \text{ кН}$  зображені на рис. 5. Тепер маємо можливість отримати силу яка є різницею між тяговою та протидіючою силами для різних значень ходу якоря. Графік результуючої сили під дією якої рухається якір зображено на рис. 6.

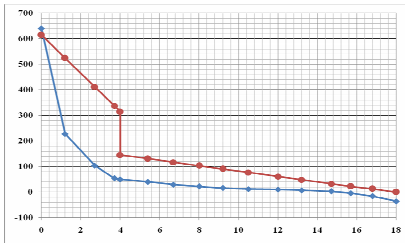


Рис. 5.

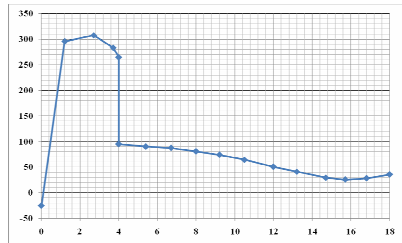


Рис. 6.

Маючи статичну тягову та протидіючу характеристику, ми можемо зробити висновок при яких зусиллях протидіючих пружин буде мати місце коректна робота механізму ручного відключення. Результати експериментального підтвердження цих розрахунків наведені у табл. 2.

Таким чином отримано діапазон спрацьовування механізму ручного відключення відмикача. Якщо зусилля тарілок перевищить 170 кг, не буде утримання якорю в кінцевому положенні, а якщо виставити менш 40 кг, отримаємо замалу силу контактного підтискання.

Другий етап дослідження полягає в модулюванні ситуації, яка матиме місце після зношення контактів ВДК.

Зрозуміло, що в такому разі розчин контактної системи буде зменшуватися, а провал, навпаки, рости. Припустімо, що початкове їх співвідношення (14+4) мм трансформувалось в (15+3) мм.

Таблиця 2 – Експериментальні дані (провал – 14 мм).

Початкове зусилля тарілок, Н	Спрацьовування приводу	Ручне відключення	Кількість обертів болта, об	Відповідна довжина підриву мм
2000	ні	–	–	–
1700	так	так	<0,25	<0,5
1500	так	так	<0,25	<0,5
1250	так	так	<0,25	<0,5
1000	так	так	<0,25	<0,5
700	так	так	0,25	0,5
400	так	так	>0,25	>0,5

Стартове протидіюче зусилля зростає лише на величину жорсткості допоміжних пружин. Проводячи аналогічні дії маємо наступні результати, зображені в табл. 3, які повністю співпадають з розрахунками.

Таблиця 3 – Експериментальні дані (провал – 15 мм).

Початкове зусилля тарілок, Н	Спрацьовування приводу	Ручне відключення	Кількість обертів болта, об	Відповідна довжина мм
1805	так	так	<0,25	<0,5
1605	так	так	<0,25	<0,5
1355	так	так	0,25	0,5
1105	так	так	0,25	0,5
805	так	так	>0,25	>0,5
505	так	так	$\leq 1$	$\leq 1$

Отже можемо зробити висновок, що у разі зношення контактів лише на міліметр, маємо істотне зменшення кінцевих протидіючих зусиль. Водночас (15+3) мм є значенням граничного зношення контактів, тобто таким, при якому ручне відключення ще можливе. Це було визначено експериментальним шляхом.

Розбіжність розрахунку та експерименту виникає під час аналізу співвідношення розчину/провалу контактів, яке дорівнює (16+2) мм. Експеримент показав, що в даному випадку ручного відключення немає, але графічна залежність вказує на те, що ручне відключення повинно відбуватись, бо результуюча сила руху якоря усюди більша за нуль. Саме тому значення граничного зношення визначалося шляхом експерименту. Щодо вищевказаної розбіжності, то було проведено аналіз її причин.

Причинами можуть бути: 1) Виникнення сил тертя у втулках фланців, які зашкоджують руху якоря. Ці сили у свою чергу можуть

з'являтися за рахунок потужних зусиль однобічного тяжіння між якорем та деталлю, у якій він переміщується. Це тяжіння обов'язково виникає ще на етапі зборки приводу. 2) Дія вихрових струмів у якорі під час його руху.

Якщо основною причиною є сили тертя то треба підкреслити, що ці сили мають нелінійний характер. Подальше дослідження даної проблеми може дати питому відповідь.

**Висновки.** Проведено огляд існуючих систем ручного відключення приводів вакуумних відмикачів середньої напруги 6-35 кВ. Розроблено методику імітації протидіючих зусиль в реальних відмикачах. Здійснено вибір пружин для системи створення протидіючих сил, сконструйовано механізм ручного відключення приводу та експериментальний стенд для досліджень цього механізму. Отримано статичну тягову та протидіючу характеристики ручного відключення шляхом розрахунків та експерименту, а також характеристики результуючої сили під дією якої рухається якор приводу під час ручного відключення. Знайдено діапазони спрацьовування механізму ручного відключення в залежності від величини протидіючих сил з урахуванням зношення контактів та значення граничного зношення, яке дорівнює одному міліметру. Проведено аналіз причин розбіжності розрахункових та експериментальних даних. Зроблено висновок, що зі зношенням контактів, маємо значне зменшення протидіючих зусиль, а у разі падіння величини провалу контактів нижче граничної, ручне відключення працювати не буде. Тому однозначною рекомендацією є необхідність проведення системних оглядів вакуумних відмикачів з метою контролю за співвідношенням розчину та провалу контактів.

**Список літератури:** 1. *Клименко Б.В.* Комутаційна апаратура. Апаратура керування. Запобіжники. Терміни, тлумачення, коментарі. Харків: Талант, 2008. – 226 с. 2. Выключатели вакуумные серии ВР. Техническая информация. НКАИ.670049.011.ТИ. – 11 с. 3. Руководство по эксплуатации вакуумных выключателей серии ВВ-TEL. ТШАГ674152.003 РЭ. – 8 с.



**М'якінький Олег Володимирович**, аспірант кафедри "Електричні апарати" Національного Технічного Університету "Харківський Політехнічний Інститут", захистив диплом магістра в 2007 році. Наукові інтереси пов'язані з проблемами удосконалення електричних апаратів, в тому числі приводів вакуумних відмикачів.

*Надійшла до редколегії 10.11.2009*