

В.М. Кутін д-р. техн. наук, професор;
О.Є. Рубаненко, канд. техн. наук, доцент; С.В. Мисенко
Вінницький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ВИМИКАЧА

Надійність роботи електричних станцій та електропідстанцій в значній мірі залежить від надійності роботи високовольтних вимикачів. Будь-які зміни в струмових колах енергетичних систем при нормальних та аварійних режимах виконують вимикачі, робота яких в більшості випадків залежить від технічного стану дугогасильної камери та привода. Для визначення технічного стану вимикача використовують методи постійного та періодичного контролю, найбільш інформативною формою представлення яких є залежності швидкості руху рухомих контактів від часу. Проте їх отримання обмежено конструктивними особливостями, а саме місцями приєднання сенсорів кутового та лінійного переміщення. Запропоновано для визначення технічного стану дугогасильної камери і привода використати метод накладання тестового високочастотного сигналу на коло, яке містить контакти камер елегазових вимикачів під час їх спрацювання. Для визначення сукупності параметрів оцінки технічного стану привода елегазових вимикачів, було проведено дослідження роботи вимикача при нормальній та ненормальній роботі привода вимикача. Запропоновано в якості діагностичного параметра, який характеризує технічний стан спряжених частин привода інтервал часу.

Ключові слова: високовольтний вимикач, діагностування, привод, швидкісні характеристики, високочастотний сигнал.

Вступ. В наш час актуальною є задача захисту навколишнього середовища від техногенних впливів промисловості на екосистеми. Енергетична галузь – одна з найбільш небезпечних з точки зору техногенних катастроф. На електричних станціях та електропідстанціях експлуатується велика кількість обладнання, яке під час своєї роботи створює парниковий ефект та може забруднювати навколишнє середовище. Наприклад під час аварії силових трансформаторів та реакторів є можливість попадання великої кількості оливи в навколишнє середовище. Оскільки, задачі з локалізації аварійних режимів на станціях та електропідстанціях виконують високовольтні вимикачі, тому актуальною є задача підвищення надійності експлуатації високовольтних вимикачів шляхом вдосконалення існуючих методів і засобів їх діагностики.

На підстанціях енергетичних систем встановлена велика кількість елегазових високовольтних вимикачів різних типів та виробників. Досвід експлуатації яких за деякими типами незначний. Для надійної роботи такого відповідального обладнання потрібно контролювати його технічний стан. Для визначення технічного стану вимикача використовують методи постійного та періодичного контролю діагностичних параметрів. Найбільш інформативними параметрами, які можна отримати під час проведення пуско-налагоджувальних робіт, технічному обслуговуванні та методами безперервного контролю є швидкісні характеристики [1]. Проте отримання швидкісних характеристик елегазових вимикачів обмежено конструктивними особливостями, а саме місцями приєднання сенсорів кутового та лінійного переміщення до рухомих частин вимикача, тому запропоновано для контролю параметрів технічного стану дугогасильної камери і приводних механізмів використати метод накладання тестового високочастотного сигналу на коло, яке містить контакти камер елегазових вимикачів під час їх спрацювання. Визначення цих параметрів на різних частотах тестового сигналу дозволяє отримати швидкісні характеристики без використання сенсорів кутового та лінійного переміщення. Аналіз отриманих залежностей підвищить точність контролю з метою виявлення дефектів в роботі вимикача на початковій стадії їх розвитку [2].

Мета роботи. Визначення сукупності параметрів оцінки технічного стану привода елегазових вимикачів.

Результати досліджень. Для визначення діагностичних параметрів було проведено дослідження роботи вимикача при справному приводі вимикача та роботи вимикача при збурюючих діях в роботі привода. Збурюючі сили викликані збільшенням зазорів в шарнірах спряжених частин привода рухомих ланок.

Під час проведення пуско-налагоджувальних робіт на елегазовому вимикачі Siemens 3APF1 145 кВ було знято 16 залежностей швидкостей переміщення рухомої контактної системи (РКС) від часу під

час операції увімкнення при справному приводі вимикача. Опрацювавши отримані результати було визначено швидкості переміщення РКС v_{k1} (ШП РКС1) в контрольних точках з періодом часу 0,2 мс (похибка приладу становить 0,1 мс) та обчислено середні значення швидкостей (табл. 1.).

Подальші дослідження проводились на вимикачеві при збурюючих діях в приводі, які викликані зношенням спряжених частин під час операції увімкнення. Аналогічно попереднім дослідженням було знято 16 осцилограм залежності швидкості переміщення РКС v_{k2} (ШП РКС2). Отримані результати наведені в табл. 1, де різницю швидкостей Δv_k для відповідних моментів часу обчислено за виразом

$$\Delta v_k = v_{k1} - v_{k2} \quad (1)$$

Таблиця 1

Залежність швидкостей переміщення РКС вимикачів

$t, \text{мс.}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$v_{k1}, \text{м/с}$	0	1,027	1,987	2,807	3,503	3,982	4,503	5,364	6,045	6,483
$v_{k2}, \text{м/с}$	0	0,768	1,756	2,205	2,387	2,568	2,899	3,624	4,485	5,254
Δv_k	0	0,259	0,231	0,602	1,116	1,414	1,604	1,74	1,56	1,229
$t, \text{мс.}$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$v_{k1}, \text{м/с}$	6,824	7,284	7,764	7,956	8,245	8,457	8,784	9,057	9,207	9,243
$v_{k2}, \text{м/с}$	6,042	6,845	7,279	7,708	7,982	8,243	8,507	8,804	8,984	9,104
Δv_k	0,782	0,439	0,485	0,248	0,263	0,214	0,277	0,253	0,223	0,139
$t, \text{мс.}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$v_{k1}, \text{м/с}$	9,265	9,186	9,021	8,541	7,763	6,927	5,862	4,358	2,486	0
$v_{k2}, \text{м/с}$	9,057	9,045	8,924	8,267	7,521	6,534	5,563	4,205	2,286	0,624
Δv_k	0,208	0,141	0,097	0,274	0,242	0,393	0,299	0,153	0,2	-0,624

Графічна інтерпретація результатів досліджень та розрахунків показано на рис. 1.

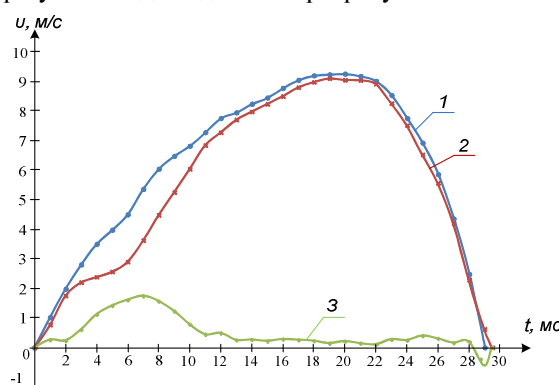


Рис. 1 Залежності швидкості переміщення рухомої контактної системи під час операції увімкнення: 1 – справного вимикача, 2 - при збільшеному зазорі в шарнірі шатуна пружини увімкнення, 3 – різниця швидкостей.

Враховуючи, що похибка приладу при вимірюванні швидкостей становить 0,2 м/с проведемо вибірку різниці швидкостей Δv_k зі значенням менше ніж 0,2 м/с та наведемо їх в табл.2.

Таблиця 2

Різниця швидкостей РКС ($\Delta v_k \geq 0,2 \text{ м/с}$)

$t, \text{мс.}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13
Δv_k	0,259	0,231	0,602	1,116	1,414	1,604	1,74	1,56	1,229	0,439	0,485	0,248
$t, \text{мс.}$	14	15	16	17	18	19	20	23	24	25	26	
Δv_k	0,263	0,214	0,277	0,253	0,223	0,139	0,208	0,274	0,242	0,393	0,299	

Для визначення діагностичного параметра, у вигляді інтервалу часу, який характеризує технічний стан шарніра шатуна пружини увімкнення використаємо однофакторний аналіз за критерієм Фішера [3]. Для цього пропонуємо наступний алгоритм.

1. Суми результатів вимірювань ШП РКС1 та ШП РКС2 в контрольних точках (за даними табл.1)

$$Y_{v_{k1i}} = \sum_{i=1}^n v_{k1i}, \quad (2)$$

де v_{k1i} – ШП РКС1 в i -й точці кривої залежності ШП РКС1 від часу, $n=23$ – кількість контрольних точок залежності швидкості РКС від часу.

$$Y_{v_{k1}} = 1,027 + 1,987 + 2,807 + 3,503 + 3,982 + 4,503 + 5,364 + 6,045 + \\ + 6,483 + 6,824 + 7,824 + 7,764 + 7,956 + 8,245 + 8,46 + 8,784 + 9,057 + \\ + 9,207 + 9,265 + 8,541 + 7,763 + 6,927 + 5,862 = 147,637 \text{ м/с}, \quad (3)$$

де $Y_{v_{k1}}$ - сума ШП РКС1.

$$Y_{v_{k2}} = 0,768 + 1,756 + 2,205 + 2,387 + 2,568 + 2,899 + 3,624 + 4,485 + \\ + 5,254 + 6,042 + 6,845 + 7,279 + 7,708 + 7,982 + 8,243 + 8,507 + 8,804 + \\ + 8,984 + 9,057 + 8,267 + 7,521 + 6,534 + 5,563 = 133,282 \text{ м/с}, \quad (4)$$

де $Y_{v_{k2}}$ - сума ШП РКС2.

2. Суми ШП РКС1 та ШП РКС2 піднесені до квадрату:

$$Y_{v_{k1}}^2 = 147,637^2 = 21796,684 \text{ м}^2/\text{с}^2, \quad (5)$$

$$Y_{v_{k2}}^2 = 133,282^2 = 17764,092 \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (6)$$

3. Середні значення швидкостей піднесених до квадрату:

$$\frac{1}{n} Y_{v_{k1}}^2 = \frac{1}{23} 21796,684 = 947,682 \text{ м}^2/\text{с}^2, \quad (7)$$

$$\frac{1}{n} Y_{v_{k2}}^2 = \frac{1}{23} 17764,092 = 772,351 \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (8)$$

де $n=23$ кількість контрольних точок залежності швидкості РКС від часу.

4. Суми ШП РКС1 та ШП РКС2 піднесених до квадрата в контрольних точках:

$$\sum_{i=1}^n v_{k1i}^2 = 1,027^2 + 1,987^2 + 2,807^2 + 3,503^2 + 3,982^2 + 4,503^2 + 5,364^2 + 6,045^2 + \\ + 6,483^2 + 6,824^2 + 7,824^2 + 7,764^2 + 7,956^2 + 8,245^2 + 8,46^2 + 8,784^2 + 9,057^2 + \\ + 9,207^2 + 9,265^2 + 8,541^2 + 7,763^2 + 6,927^2 + 5,862^2 = 1076,689 \text{ м}^2/\text{с}^2, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n v_{k2i}^2 = 0,768^2 + 1,756^2 + 2,205^2 + 2,387^2 + 2,568^2 + 2,899^2 + 3,624^2 + 4,485^2 + \\ + 5,254^2 + 6,042^2 + 6,845^2 + 7,279^2 + 7,708^2 + 7,982^2 + 8,243^2 + 8,507^2 + 8,804^2 + \\ + 8,984^2 + 9,057^2 + 8,267^2 + 7,521^2 + 6,534^2 + 5,563^2 = 928,671 \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (10)$$

5. Сума ШП РКС1 та ШП РКС1 в контрольних точках

$$\sum_{j=1}^2 Y_{v_{kj}} = Y_{v_{k1}} + Y_{v_{k2}}, \quad \sum_{j=1}^2 Y_{v_{kj}} = 147,637 + 133,282 = 280,919 \text{ м/с}. \quad (11)$$

6. Сума середніх значень швидкостей піднесених до квадрату

$$Q_2 = \frac{1}{n} Y_{v_{k1}}^2 + \frac{1}{n} Y_{v_{k2}}^2, \quad Q_2 = 947,682 + 772,351 = 1720,033 \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (12)$$

7. Сума ШП РКС1 та ШП РКС2 піднесених до квадрата в контрольних точках

$$Q_1 = \sum_{j=1}^2 v_{k1}^2, \quad Q_1 = 1076,689 + 928,671 = 2005,36 \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (13)$$

8. Загальна кількість контрольних точок

$$M=23+23=46. \quad (14)$$

9. Сума результатів всіх швидкостей піднесена до квадрату поділену на загальну кількість контрольних точок

$$Q_3 = \frac{1}{M} \left(\sum_{j=1}^2 Y_{v_{kj}} \right)^2, \quad Q_3 = \frac{1}{46} 280,919^2 = 1715,554 \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (15)$$

10. Загальна сума квадратів відхилень швидкостей визначається за формулою

$$S = Q_1 - Q_3, \quad S = 2005,36 - 1715,554 = 289,806 \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (16)$$

11. Сума квадратів відхилень швидкостей по середині вимірювань

$$S_0 = Q_1 - Q_2, \quad S_0 = 2005,36 - 1720,033 = 285,327. \quad (17)$$

12. Сума квадратів відхилень швидкостей між вимірюваннями

$$S_x = Q_2 - Q_3, \quad S_x = 1720,033 - 1715,554 = 4,479 \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (18)$$

13. Кількість досліджуваних станів вимикача

$$U=2. \quad (19)$$

14. Кількість ступенів свободи між контрольними точками залежностей швидкості від часу для справного і несправного вимикача

$$U_0 = M - u, \quad U_0 = 46 - 2 = 44. \quad (20)$$

15. Кількість ступенів свободи між залежностями справного і несправного вимикача

$$U_x = u - 1, \quad U_x = 2 - 1 = 1. \quad (21)$$

16. Загальна кількість ступенів свободи

$$U = M - 1, \quad U = 46 - 1 = 45. \quad (22)$$

17. Загальна вибіркова дисперсія по контрольних точках

$$S^2 = S / U, \quad S^2 = 809,671 / 45 = 17,993 \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (23)$$

18. Вибіркова дисперсія по контрольних точках

$$S_0^2 = S_0 / U_0, \quad S_0^2 = 285,327 / 44 = 6,485 \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (24)$$

19. Вибіркова дисперсія між залежностями ШП РКС1 та ШП РКС2

$$S_x^2 = S_x / U_x, \quad S_x^2 = 4,479 / 1 = 4,479 \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (25)$$

20. Виконаємо перевірку значимості впливу фактора, для чого знайдемо дисперсійне відношення (розрахункове значення критерію Фішера)

$$F = \frac{S_x^2}{S_0^2}, \quad F = \frac{4,479}{6,485} = 0,69. \quad (26)$$

Табличне значення F -критерію Фішера [3] для 5 відсоткового рівня значимості і кількості ступенів свободи $U_1 = u_x = 1$ і $U_2 = u_0 = 44$ дорівнює

$$F_{0,05}(1;44) = 4,08, \text{ в.о.} \quad (27)$$

Оскільки $F < F_{0,05}(1;44)$ то графіки залежності ШП РКС1 та ШП РКС2 дуже подібні. Тому для подальшого визначення діагностичного параметра, запропоновано провести вибірку (дані табл.2) різниці швидкостей Δv_k зі значенням менше та дорівнює 0,4 м/с та наведемо їх в табл. 3.

Таблиця 3

Різниця швидкостей РКС ($\Delta v_k \geq 0,4$ м/с)

$t, \text{мс.}$	3	4	5	6	7	8	9	11	12
Δv_k	0,602	1,116	1,414	1,604	1,74	1,56	1,229	0,439	0,485

Подальші дослідження проводились аналогічно. В результаті було отримано розрахункове значення критерію Фішера

$$F = \frac{6,313}{3,26} = 1,9. \quad (28)$$

Табличне значення F -критерію Фішера [3] для 5 відсоткового рівня значимості і кількості ступенів свободи $U_1 = u_x = 1$ і $U_2 = u_0 = 16$ дорівнює

$$F_{0,05}(1;16) = 4,49. \quad (29)$$

Оскільки $F < F_{0,05}(1;16)$, тому для подальшого визначення діагностичного параметра проведено вибірку різниць швидкостей (табл. 3.), значення яких перевищує 0,6 м/с (потрійну похибку приладу). Результати вибірки наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Різниця швидкостей РКС ($\Delta v_k \geq 0,6$ м/с)						
$t, \text{мс.}$	4	5	6	7	8	9
Δv_k	1,116	1,414	1,604	1,74	1,56	1,229

Після аналогічних розрахунків отримано розрахункове значення критерію Фішера

$$F = \frac{6,251}{1,2} = 5,2. \quad (30)$$

Табличне значення F - критерію Фішера [3] для 5 відсоткового рівня значимості і кількості ступенів свободи $U_1=u_x=1$ і $U_2=u_0=10$ дорівнює

$$F_{0,05}(1;10)=4,96. \quad (31)$$

Оскільки $F < F_{0,05}(1;10)$, $5,2 > 4,96$ то в якості діагностичного параметра, приймаємо інтервал часу від $t_1=4$ мс до $t_2=9$. На вказаному інтервалі часу величина швидкості для справного вимикача значно перевищує величину швидкості для вимикача у якого збільшився зазор в шарнірі пружини шатуна увімкнення. Тобто, відповідно до критерію Фішера, подібності кривих залежностей швидкості переміщення РКС справного вимикача і вимикача у якого збільшився зазор в шарнірі шатуна пружини увімкнення не встановлено.

Висновки.

Для виявлення збільшення зазору у шарнірі шатуна пружини увімкнення привода вимикача в якості діагностичного параметра запропоновано інтервал часу на якому значення швидкості переміщення РКС для справного вимикача значно перевищує значення швидкості переміщення РКС для вимикача у якого збільшився зазор в шарнірі шатуна пружини увімкнення.

Список літератури

1. Сопель М.Ф. До визначення залишкового ресурсу елегазових високовольтних вимикачів 750 кВ/ М. Ф. Сопель, В. Л. Тутик, А. В. Панов, Ю.В. Пилипенко // Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. – 2007. – Частина 1, №1(16). – С. 136-139.
2. Кутін В.М. Вдосконалення методів діагностування високовольтних вимикачів / Рубаненко О.С., Мисенко С.В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. –2012. №1. – С.1–7.
3. Основи теорії планування експерименту: Лабораторний практикум / Лежнюк П.Д., Рубаненко О.С., Лук'яненко Ю.В. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 167 с.

V. M. Kutin, O.E. Rubanenko, S.V. Mysenko
Vinnitsa National Technical University

DETERMINATION DIAGNOSTIC PARAMETERS EVALUATE THE TECHNICAL CONDITION OF HIGH-VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS

Reliability of power plants and substations is largely dependent on the reliability of high-voltage circuit breakers. Any change in current circles of power systems under normal and emergency modes perform switches which work in most cases depends on the technical condition of arc chutes and drive. To determine the technical state of the switch using the methods of continuous and periodic monitoring of the most informative form of representation which is depending on the velocity of the moving contact times. However, they receive on-strictions design features, such as the ground connection of sensors of angular and linear movement. Proposed for determining the technical state explosion chambers and drive - tachi method using overlay test high-frequency signal in the range that contains the contact chambers hexafluoride circuit breakers during their operation. To determine the set of parameters to assess technical state drive gas-insulated switches, a study of the switch during normal operation and abnormal operation of the switch actuator. Proposed as a diagnostic parameter that describes the technical condition of conjugated units drive time interval.

Key words: high voltage switch, diagnostics, drive, fast performance, high-frequency signal.

1. Sopel M.F. To determine the residual life of gas-insulated high-voltage circuit breakers 750 kV / M. F. Sopel, V. L. Tutik, A. V. Panov, Yu.V. Pilipenko // PratsI Institutu elektrodinamIki NatsIona-I noYi akademIYi nauk UkraYini. ZbIrnIknaukovIh prats. – 2007. – Chastina 1, №1(16). – S. 136-139.
2. Kutin V.M., Rubanenko O. Y., Mysenko S.V. // Improved methods for diagnosing high-voltage circuit breakers. // Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. –2012. №1. P.109-112.
3. P.D. Lezhnyuk/ Basic theory of experimental design: Laboratorniy praktikum / Lezhnyuk P.D., Rubanenko O.E., Luk'yanenko Yu.V. – Vinnitsya: VNTU, 2006. – 167 s.

В.М. Кутин д-р. техн. наук, професор;
О.Е. Рубаненко канд. техн. наук, доцент; С.В. Мысенко
Винницький національний технічний університет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Надежность работы электрических станций и электроподстанций в значительной степени зависит от надежности работы высоковольтных выключателей. Любые изменения в токовых цепях энергетических систем при нормальных и аварийных режимах выполняют выключатели, работа которых в большинстве случаев зависит от технического состояния дугогасительной камеры и привода. Для определения технического состояния выключателя используют методы постоянного и периодического контроля, наиболее информативной формой представления которых есть зависимости скорости движения подвижных контактов от времени. Однако их получения ограниченные конструктивными особенностями, а именно местами присоединения сенсоров углового и линейного перемещения. Предложено для определения технического состояния дугогасительной камеры и привода использовать метод наложения тестового высокочастотного сигнала на цепь, которая содержит контакты камер элегазовых выключателей при их срабатывании. Для определения совокупности параметров оценки технического состояния привода элегазовых выключателей, было проведено исследование работы выключателя при нормальной и ненормальной работе привода выключателя. Предложено в качестве диагностического параметра, который характеризует техническое состояние сопряженных частей привода интервал времени.

Ключевые слова: высоковольтный выключатель, диагностирования, привод, скоростные характеристики, высокочастотный сигнал.

Надійшла 15.06.2014

Received 15.06.2014

УДК 621.317.38

О.В. Коцар, канд. техн. наук, доцент, Ю.О. Расько
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМЕРЦІЙНИХ РОЗРАХУНКІВ В ОРЕ УКРАЇНИ

Невід'ємною умовою побудови якісних електроенергетичних балансів та проведення справедливих розрахунків за електричну енергію є повнота, достовірність та актуальність даних комерційного обліку. В статті розроблено базові принципи застосування АСКОЕ та вирішено низку завдань щодо комплексного забезпечення повноти, достовірності і актуальності даних комерційного обліку електроенергії в ОРЕ України. Такий підхід забезпечує ефективне виконання суб'єктами ОРЕ рольових функцій в умовах перспективних моделей енергоринку України та на перехідних етапах на базі ідеологічної платформи Smart Grid.

Ключові слова: АСКОЕ, верифікація, валідація, дані комерційного обліку, достовірність, лічильник електроенергії, ОРЕ.

Вступ. Формування якісних електроенергетичних балансів та здійснення справедливих розрахунків за електричну енергію є однією з невід'ємних вимог функціонування ринку електричної енергії і можливе лише за умови комплексного забезпечення повноти, достовірності та актуальності даних комерційного обліку [1] та повної автоматизації процедури їхнього формування.

Мета і завдання. Метою статті є визначення цілісного комплексу вимог щодо формування надійного інформаційного забезпечення для побудови якісних електроенергетичних балансів та проведення справедливих комерційних розрахунків в Оптовому ринку електричної енергії (ОРЕ) України. Для досягнення поставленої мети необхідно сформулювати умови та вирішити низку завдань, в першу чергу з розроблення базових принципів застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) в ОРЕ та комплексного забезпечення повноти, достовірності і