

10. Barbato, L. Combined 1D and 3D CFD Approach for GT Ventilation System Analysis [Electronic resource] / L. Barbato, M. Blarasin, S. Rosin // Newsletter. — 2008. — № 1. — P. 15–18. — Available at: \www/URL: <http://www.enginsoft.it/applications/oilgas/geoilgas.html>. — 15.05.2015.
11. Santon, R. C. A New Gas Turbine Enclosure Ventilation Design Criterion [Text] / R. C. Santon, M. J. Ivings, D. K. Pritchard // Volume 5: Turbo Expo 2005. — ASME, 2005. — Paper No. GT2005-68725. — P. 445–452. doi:10.1115/gt2005-68725
12. Костюк, В. Е. Обобщенная математическая модель теплового состояния укрытый газотурбинных установок [Текст] / В. Е. Костюк, Е. И. Кирилаш, А. Л. Кравчук // Интегрированные технологии и энергосбережение. — 2013. — № 1. — С. 22–26.
13. Костюк, В. Е. Тепловая модель корпуса газотурбинного двигателя [Текст] / В. Е. Костюк, Е. И. Кирилаш // Интегрированные технологии та енергозбереження. — 2015. — № 2.
14. Launder, B. E. Lectures in Mathematical Models of Turbulence [Text] / B. E. Launder, D. B. Spalding. — London: Academic Press, 1972. — 169 p.
15. Эрих, В. Н. Химия и технология нефти и газа [Текст] / В. Н. Эрих, М. Г. Расина, М. Г. Рудин. — Л.: Химия, 1977. — 424 с.
16. Ефремов, С. В. Производственная безопасность. Часть 1. Опасные производственные факторы [Текст]: учеб. пособие / под ред. С. В. Ефремова; Политехн. ун-т. — СПб.: Политехн. ун-т, 2012. — 223 с.
17. Теплоизоляционные изделия ROTYS [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: <http://rotys.com/produkcija>. — 15.05.2015.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ОБЛАДНАННЯ ТУРБОКОМПРЕСОРНОГО АГРЕГАТУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Чисельно досліджено тепловий стан обладнання силового блока за наявності та відсутності зовнішньої теплової ізоляції

корпусу конвертованого газотурбінного двигуна. Покриття корпусу двигуна ізоляцією призведе до значного зниження температур його зовнішньої поверхні і малорозмірного обладнання силового блока при невеликому зменшенні коефіцієнта корисної дії турбіни та потужності двигуна внаслідок додаткового теплового розширення корпусу.

Ключові слова: турбокомпресорний агрегат, газотурбінний двигун, пожежовибухобезпека, тепловий стан, тепла ізоляція, моделювання.

Кирилаш Елена Ивановна, младший научный сотрудник, кафедра конструкции авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина, e-mail: kirilash-elena@rambler.ru.

Костюк Владимир Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, кафедра конструкции авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина, e-mail: aedlab@ic.kharkov.ua.

Кирилаш Елена Іванівна, молодший науковий співробітник, кафедра конструкції авіаційних двигунів, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна.

Костюк Володимир Євгенович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, кафедра конструкції авіаційних двигунів, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна.

Kyrylash Olena, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine, e-mail: kirilash-elena@rambler.ru.

Kostyuk Vladimir, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine, e-mail: aedlab@ic.kharkov.ua.

УДК: 621.313.37.004.17

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44328

**Овчаров С. В.,
Стребков А. А.**

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В данной статье на базе исследования потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе с короткозамкнутым ротором в функции загрузки на валу и температуры окружающей среды и теплового износа его изоляции разработана методика единой оценки процессов потерь электрической энергии и расхода ресурса изоляционной конструкции в электродвигателе в единицах энергии.

Ключевые слова: электродвигатель, потери, удельные, загрузка, температура, оптимум, энергосбережение, скольжение, диаграмма, ресурс.

1. Введение

В Украине существует народно-хозяйственная проблема ресурсоэнергосбережения в силовом электрооборудовании (силовых трансформаторах, электродвигателях, силовых кабелях), используемом в агропромышленном комплексе. Суть проблемы состоит в том, что Украина только до 40 % обеспечена собственными энергетически-

ми ресурсами, а эксплуатационная надежность силового электрооборудования, работающего в агропромышленном комплексе, остается низкой [1].

Поэтому необходимы научно-технические решения, как в сфере энергосбережения, так и повышения эксплуатационной надежности силового электрооборудования.

Разрабатываемые технические решения должны быть технически и экономически обоснованы. Одним из

основных показателей оценки технических решений является, как известно, годовой экономический эффект от реализации разработок, выражаемый в национальной валюте. Однако из-за неустойчивости курса национальной валюты такая оценка не может быть объективной.

Потери электрической энергии в силовом электрооборудовании и расход его ресурса тесно связаны. Самым слабым элементом силового электрооборудования является его изоляционная конструкция. Основным негативно воздействующим на нее эксплуатационным параметром является ее температура нагрева, которая в свою очередь является функцией потерь электрической энергии в нем [2].

Оценка потерь электрической энергии в силовом электрооборудовании осуществляется в единицах электрической энергии, а расход ресурса изоляционной конструкции — в единицах износа изоляции. В результате трудно оценить в целом эксплуатационные режимы работы силового электрооборудования.

Поэтому разработка методики энергетической оценки эксплуатационных режимов работы силового оборудования является актуальной.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Как показано выше, потери электрической энергии в силовом электрооборудовании оценивают в единицах энергии, а расход ресурса изоляции, в основном определяющий расход ресурса силового электрооборудования — в единицах теплового износа изоляции [1].

В работах [3–10] указанные два процесса рассматриваются, но, как правило, раздельно, хотя они и являются единым процессом.

В данной работе поставлена научно-техническая задача оценки ресурсоэнергосбережения в силовом электрооборудовании единым показателем, для чего необходимо исследование процесса потерь электрической энергии совместно с процессом теплового износа его изоляции, а затем их совместная оценка.

Выполняется эта задача на примере асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором как самым широко распространенным представителем силового оборудования.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — процесс потерь электрической энергии в асинхронном электродвигателе и теплового износа его изоляции.

Целью работы является исследование и разработка единого показателя оценки потерь электрической энергии и расхода ресурса изоляции в асинхронном электродвигателе в эксплуатационных условиях.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Исследование закономерностей потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе с короткозамкнутым ротором в функции эксплуатационных воздействий на него.
2. Исследование закономерностей теплового износа изоляционной конструкции в электродвигателе в функции параметров режимного характера работы последнего.
3. Разработка единой оценки процессов потерь электрической энергии и расхода ресурса изоляционной конструкции в электродвигателе.

4. Исследование закономерностей потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе с короткозамкнутым ротором в функции эксплуатационных воздействий на него

В [2] введено понятие коэффициента потерь активной мощности в электродвигателе, под которым понимается отношение потерь активной мощности в электродвигателе к активной мощности на его валу:

$$\kappa_{\Pi} = \frac{\Delta P}{P_2} \quad (1)$$

Проведены расчеты потерь активной мощности в электродвигателе типоразмера 4A100S2Y3 с учетом нагрева электродвигателя и температуры окружающей среды, результаты расчета показаны графически (рис. 1).

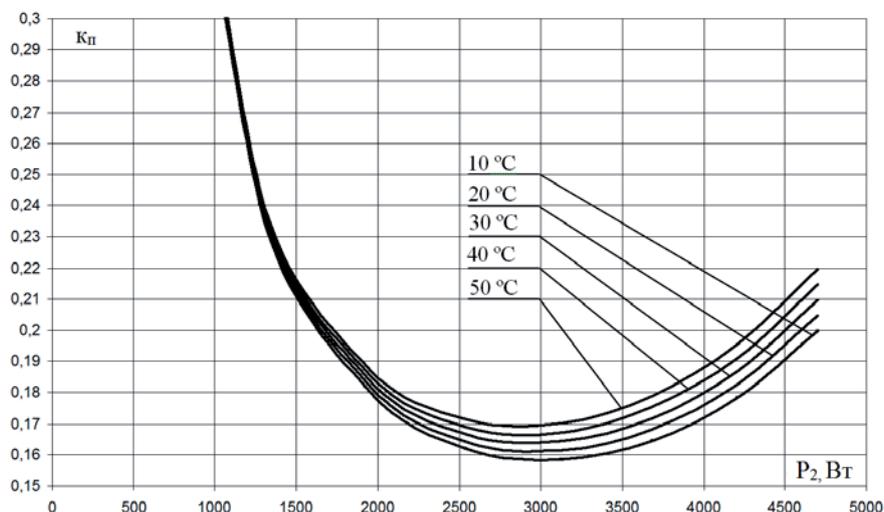


Рис. 1. Зависимости коэффициента потерь активной мощности κ_{Π} в функции активной мощности на валу P_2 при температурах окружающей среды: 10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C

Построена круговая диаграмма комплекса полной мощности, потребляемой электродвигателем (рис. 2).

Предложенная круговая диаграмма позволяет находить потери активной мощности в функции скольжения электродвигателя.

такой же является и доля стоимости электрической энергии в стоимости обмоток.

Стоимость обмоток асинхронного электродвигателя может быть найдена следующим образом:

$$C_o = m \cdot c_o \cdot k_{н.р.} \cdot k_n, \quad (8)$$

где m — масса трех обмоток статора асинхронного электродвигателя, кг; c_o — цена обмоточного провода, грн/кг; $k_{н.р.}$ — коэффициент накладных расходов на изготовление обмоток статора асинхронного электродвигателя; k_n — коэффициент изготовления обмоток статора асинхронного электродвигателя.

Коэффициент накладных расходов на изготовление обмоток статора асинхронного электродвигателя показывает относительную величину увеличения стоимости обмоток статора от затрат на отопление производственных помещений, на бытовые нужды, на освещение, на вентиляцию и другое.

Коэффициент изготовления обмоток статора асинхронного электродвигателя показывает относительную величину увеличения стоимости обмоток статора от затрат на их изготовление.

Указанные коэффициенты больше единицы. Например, коэффициент изготовления обмоток находится в пределах 1,3–1,5 [1].

Количество электрической энергии, затраченной на получение обмоточного провода и изготовление обмоток, может быть найдено следующим образом:

$$W_э = \frac{C_o}{c_э}, \quad (9)$$

где $c_э$ — цена электрической энергии, грн/кВтч.

Удельные затраты электрической энергии на единицу расхода ресурса изоляционной конструкции обмоток статора асинхронного электродвигателя (кВтч/бч) равны:

$$W_{y.э} = \frac{W_э}{20000}. \quad (10)$$

Зная скорость теплового износа изоляции, найденную по (1), можем рассчитать мощность электрической энергии, расходуемую на тепловой износ изоляционной конструкции:

$$P = W_{y.э} \cdot \epsilon. \quad (11)$$

Исследуем коэффициент потерь активной мощности, расходуемой на тепловой износ изоляционной конструкции электродвигателя типоразмера 4A100S2Y3 в функции активной мощности электродвигателя на валу, для чего составим алгоритм расчета.

1. Коэффициент потерь активной мощности электрической энергии, расходуемой на тепловой износ изоляционной конструкции за один астрономический час работы электродвигателя:

$$k_{ши} = \frac{P}{P_2}. \quad (12)$$

2. Мощность электрической энергии, расходуемая на тепловой износ изоляционной конструкции в течение одного астрономического часа работы электродвигателя:

$$P = W_{y.э} \cdot \epsilon. \quad (13)$$

3. Удельные затраты электрической энергии на единицу расхода ресурса изоляционной конструкции обмоток статора асинхронного электродвигателя:

$$W_{y.э} = \frac{W_э}{20000}. \quad (14)$$

4. Количество электрической энергии, затраченной на получение обмоточного провода и изготовление обмоток, может быть найдено следующим образом:

$$W_э = \frac{0,8 C_o}{c_э}. \quad (15)$$

5. Скорость теплового износа изоляционной конструкции:

$$\epsilon = \epsilon_n e^{B \left(\frac{1}{\Theta_n} - \frac{1}{\tau_y + \vartheta_{ср} + 273} \right)}. \quad (16)$$

6. Установившееся превышение температуры изоляции электродвигателя:

$$\tau_y = \frac{\Delta P}{L}. \quad (17)$$

7. Теплоотдача электродвигателя:

$$L = \frac{\Delta P_n}{\tau_n}. \quad (18)$$

8. Номинальные потери активной мощности в электродвигателе:

$$\Delta P_n = \frac{P_{2н}}{\eta_n} - P_{2н}. \quad (19)$$

Запишем каталожные данные исследуемого электродвигателя и изоляционной конструкции: $\tau_n = 90$ °С, $\epsilon_n = 1$ бч/ч, $B = 10200$ К, $\Theta_n = 403$ К, $C_o = 846$ грн, $c_э = 0,25$ грн/кВтч, $\Delta P_n = 624$ Вт, $L = 6,93$ Дж/с°С.

Находим зависимость потерь активной мощности в электродвигателе в функции мощности на валу.

$$\Delta P = k_{ши} P_2. \quad (20)$$

Для этого воспользуемся зависимостью $k_{ши} = f(P_2)$, приведенной на рис. 1 при температуре окружающей среды, равной +40 °С. Результаты заносим в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость потерь активной мощности в электродвигателе в функции мощности на валу

P_2 , Вт	2500	3000	3500	4000	4500	5000
κ_n	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,2
ΔP , Вт	360	427	510	624	786	975
τ_y , °C	52	62	74	90	113	141
ε , бч/ч	0,07	0,15	0,37	1	4,06	16,44
P , Вт	12	26	63	170	690	2795
$\Delta P + P$, Вт	372	453	573	794	1476	3770
$\kappa_{пр}$	0,14	0,15	0,16	0,2	0,33	0,75

В результате расчетов найдена зависимость коэффициента потерь активной мощности в электродвигателе и активной мощности, потребленной на изготовление, монтаж обмоточной конструкции электродвигателя, который выражается следующим образом:

$$\kappa_{пр} = \frac{\Delta P + P}{P_2}. \quad (21)$$

Представим графически эту зависимость (рис. 3).

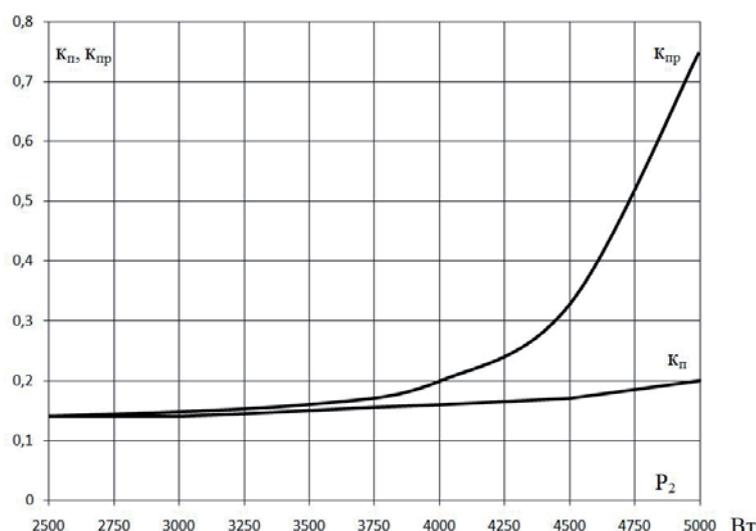


Рис. 3. Зависимость коэффициентов потерь активной мощности в электродвигателе в функции мощности на валу

Как видно из рис. 3 эквивалентный коэффициент потерь $\kappa_{пр}$ существенно возрастает по мере нагрузки электродвигателя и учитывает как потери активной мощности в электродвигателе, так и эквивалентные потери активной мощности на тепловой износ изоляции электродвигателя.

7. Обсуждение результатов разработки методики энергетической оценки эксплуатационных режимов работы силового электрооборудования

Исследование имеет целью разработать методику объективной оценки эксплуатационных режимов работы силового электрооборудования.

Результаты исследования полезны для объективного анализа эксплуатационных режимов работы, в частности, электродвигателей в эксплуатационных условиях, отличных от проектных.

Исследования являются продолжением работ [1, 2], которые приняты в основу разработки методики энергетической оценки эксплуатационных режимов работы силового электрооборудования.

8. Выводы

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Введено понятие коэффициента потерь активной мощности в электродвигателе как отношение потерь активной мощности в электродвигателе к активной мощности на его валу.
2. Найдено выражение потерь активной мощности в обмотках электродвигателя с учетом нагревания обмоток и температуры окружающей среды.
3. Исследованы закономерности теплового износа изоляции асинхронного электродвигателя в функции потерь активной мощности в нем.
4. Разработана методика единой оценки процессов потерь электрической энергии и расхода ресурса изоляционной конструкции в электродвигателе в единицах энергии.

Литература

1. Овчаров, В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве [Текст] / В. В. Овчаров. — Киев: УСХА, 1990. — 168 с.
2. Овчаров, С. В. Исследование потерь активной энергии в асинхронном электродвигателе в эксплуатационных условиях [Текст] / С. В. Овчаров, А. А. Стребков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2015. — № 2/8(74). — С. 22–28. doi:10.15587/1729-4061.2015.39026
3. Sun, D. S. Research on Voltage-Chopping and Energy-Saving Controlling Technology for Three-Phase AC Asynchronous Motor [Text] / D. S. Sun // Advanced Materials Research. — 2012. — Vol. 433–440. — P. 1033–1037. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.433-440.1033
4. Hung, N. T. Optimization of Electric Energy in Three-Phase Induction Motor by Balancing of Torque and Flux Dependent Losses [Text] / N. T. Hung, N. C. Thien, T. P. Nguyen, V. S. Le, D. A. Tuan // Lecture Notes in Electrical Engineering. — 2014. — P. 497–507. doi:10.1007/978-3-642-41968-3_50
5. Grouni, S. Novel Loss Optimization in Induction Machines with Optimum Rotor Flux Control [Text] / S. Grouni, R. Ibtouen, M. Kidouche, O. Touhami // International Journal of Systems Control. — 2010. — Vol. 1, № 4. — P. 163–169.
6. Dhaoui, M. A New Method for Losses Minimization in IFOC Induction Motor Drives [Text] / M. Dhaoui, L. Sbata // International Journal of Systems Control. — 2010. — Vol. 1, № 2. — P. 93–99.
7. Alssa, K. Vector Control Using Series Iron Loss Model of Induction Motors and Power Loss Minimization [Text] / K. Alssa, K. D. Eddine // World Academy of Science, Engineering and Technology. — 2009. — Vol. 52. — P. 142–148.
8. Kosmodamianskii, A. S. Induction motor drives with minimal power losses [Text] / A. S. Kosmodamianskii, V. I. Vorob'ev, A. A. Pugachev // Russian Electrical Engineering. — 2012. — Vol. 83, № 12. — P. 667–671. doi:10.3103/s1068371212120073
9. Yang, Y. Improvement of Electric Submersible Pump in High Temperature [Text] / Y. Yang // China Science and Technology Fortune. — 2010.

10. Островский, А. В. Безитерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя [Текст] / А. В. Островский // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. — 2012. — Вип. 12, Т. 2. — С. 66–72.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

В даній статті на базі дослідження втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором в залежності від завантаження на валу і температури навколишнього середовища та теплового зношення його ізоляції розроблена методика єдиної оцінки процесів втрат електричної енергії і ресурсу ізоляційної конструкції в електродвигуні в одиницях енергії.

Ключові слова: електродвигун, втрати, питомі, завантаження, температура, оптимум, енергозбереження, ковзання, діаграма, ресурс.

Овчаров Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической и общей электротехники, Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, Украина.

Стребков Александр Андреевич, аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники, Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, Украина, e-mail: sashko@yandex.ru.

Овчаров Сергей Володимирович, кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической та загальної електротехніки, Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, Україна.

Стребков Александр Андрійович, аспирант, кафедра теоретической та загальної електротехніки, Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, Україна.

Ovcharov Sergey, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine.

Strebkov Alexandr, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: sashko@yandex.ru

УДК 621.311.42

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44331

Бунько В. Я.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

В роботі проведено аналіз методики вибору кількості комплектів релейного захисту і автоматики (РЗА) та схем резервування для розглянутого об'єкту, який захищається. Приведено методику розрахунку показників надійності систем РЗА для трьох типів захищаних об'єктів, що дозволило обґрунтувати схеми резервування систем РЗА та забезпечило необхідний рівень надійності об'єктів системи електропостачання.

Ключові слова: релейний захист і автоматика, мікропроцесорні термінали, силовий трансформатор, лінії електропередач.

1. Вступ

У процесі експлуатації електричної системи можливі різні порушення нормального режиму — спади напруги, перевантаження, короткі замикання, які можуть призвести до пошкодження і навіть руйнування електричної апаратури та струмопроводів. Безпосередніми причинами аварій можуть бути пошкодження ізоляції або помилкові дії обслуговуючого персоналу у разі оперативних перемикань (наприклад, вимикання роз'єднувачем значних струмів навантаження, вмикання лінії під напругу за залишеного після ремонту заземлення та ін.).

Щоб зменшити збитки, спричинені короткими замиканнями, пошкоджений елемент слід вимкнути за можливості скоріше. Тому захист електроустановок від аварій або порушень нормального режиму здійснює спеціальний автоматичний пристрій — релейний захист.

Релейний захист (РЗ) — частина електричної автоматики, яка призначена для виявлення і автоматичного вимкнення пошкодженого електроустаткування.

Звичайно в електричній частині енергосистеми терміни «пошкодження» і «коротке замикання» є синонімами, хоча, це не зовсім так. Коротке замикання завжди

є пошкодженням, а пошкодження не завжди є коротким замиканням. Наприклад, обрив фази — це пошкодження, але не коротке замикання.

Як виключення до пристроїв РЗ відносяться деякі пристрої, призначені не для виявлення і вимикання пошкодженого електроустаткування, а для виявлення ненормальних режимів роботи електроустаткування (наприклад, захист від перевантаження трансформатора).

Крім того, у деяких випадках, що не вимагають швидкого автоматичного відключення пошкодженого устаткування, пристрої РЗ можуть діяти не на вимикання, а на сигнал (наприклад, захист від замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю).

Підвищення надійності системи РЗА є ефективним заходом запобігання аварійних наслідків, які викликані відмовами в її функціонуванні.

Більшість фірм виробників устаткування РЗА припиняють випуск електромеханічних реле і пристроїв і переходять на цифрову елементну базу. Перехід на нову елементну базу не приводить до зміни принципів релейного захисту і електроавтоматики, а тільки розширює її функціональні можливості, спрощує експлуатацію і знижує її вартість [1].